

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт нефти и газа  
«Технологические машины и оборудование нефтегазового комплекса»

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

\_\_\_\_\_ Э. А. Петровский

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2016 г.

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

15.03.02 - Технологические машины и оборудование

Пайка монтажных соединений оборудования методом индукционного нагрева

Руководитель \_\_\_\_\_  
подпись, дата

К.Т.Н., доцент  
должность, ученая степень

В.С. Тынченко  
инициалы, фамилия

Выпускник \_\_\_\_\_  
подпись, дата

Д.И. Сиркин  
инициалы, фамилия

Красноярск 2016

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт нефти и газа  
«Технологические машины и оборудование нефтегазового комплекса»

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

\_\_\_\_\_ Э. А. Петровский

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2016 г.

**ЗАДАНИЕ**  
**НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ**  
**в форме бакалаврской работы**

Студенту Сиркину Дмитрию Ивановичу

Группа НБ 12-02

Направление подготовки 15.03.02 «Технологические машины и оборудование»

Тема выпускной квалификационной работы «Пайка монтажных соединений оборудования методом индукционного нагрева»

Утверждена приказом по университету № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

---

Руководитель ВКР В.С. Тынченко, доцент кафедры ТМиОНГК, Институт нефти и газа Сибирского федерального университета

Исходные данные для ВКР: Государственные стандарты, научная литература по теме исследования, патенты, справочники по оборудованию и технологическим машинам нефтегазовой отрасли.

Перечень разделов ВКР:

Введение. Актуальность темы.

Раздел 1 – «Анализ предметной области». Анализ существующих способов получения неразъемных соединений. Анализ основных характеристик индукционной пайки. Индукторы для пайки. Область применения индукционной пайки. Достоинства и недостатки пайки методом индукционного нагрева. Анализ конструктивно-технологических характеристик установок индукционного нагрева. Постановка задач на проектирование. Патентно-информационный обзор установок и способов индукционной пайки.

Раздел 2 – «Конструкторско-технологический раздел». Технология изготовления штуцеров. Разработка принципиальной технологической схемы установки для индукционной пайки. Расчёт основных параметров индуктора для пайки фланцев штуцеров. Проектирование набора индукторов. Разработка конструкции установки для индукционной пайки. Выбор и обоснование вспомогательных материалов (флюс, припой). Техника безопасности при работе с установками индукционного нагрева.

Раздел 3 – «Технология применения и ремонт установки для индукционной пайки». Принцип работы установок для индукционной пайки. Технология применения индукционного нагрева для пайки фланцев штуцеров. Возможные неполадки при эксплуатации. Разработка мероприятий по техническому обслуживанию, текущему и капитальному ремонту.

Заключение. Выводы по результатам выполненной работы.

Перечень графического материала: патентно-информационный обзор установок и способов пайки (1 лист А1), технологическая наладка на процесс пайки (1 лист А2), чертёж общего вида установки для индукционной пайки (1 лист А2), чертежи индукторов для индукционной пайки фланцев штуцеров (3 листа А3), сборочный чертеж спаянного штуцера (1 лист А3), чертеж фланца (1 лист А3), презентация (9 –12 страниц).

Руководитель ВКР

\_\_\_\_\_

В. С. Тынченко

Задание принял к исполнению

\_\_\_\_\_

Д. И. Сиркин

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2016 г.



## РЕФЕРАТ

Бакалаврская работа по теме «Пайка монтажных соединений оборудования методом индукционного нагрева» содержит 76 страниц текстового документа, 19 рисунков, 7 таблиц, одно приложение, 31 использованный источник.

Цель работы: повышение качества соединения фланцев с патрубками штуцеров сосудов и аппаратов, работающих под давлением.

Задачи работы:

- разработка принципиальной технологической схемы установки для индукционной пайки;
- расчет основных параметров индуктора для пайки фланцев штуцеров;
- проектирование набора индукторов;
- разработка конструкции установки для индукционной пайки;
- выбор и обоснование вспомогательных материалов (флюс, припой);
- технология применения и ремонт установки для индукционной пайки;
- разработка мероприятий по техническому обслуживанию, текущему и капитальному ремонту.

Результатом данной работы является законченная конструкторская работа, с технологией применения индукционного нагрева для пайки фланцев штуцеров, рассчитанными электрическими параметрами индукторов, с их последующим проектированием, а также общим видом технологической схемы установки, с рекомендациями ее эксплуатации.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	8
1. Анализ предметной области .....	10
1.1 Анализ существующих способов получения неразъемных соединений ...	10
1.2 Анализ основных характеристик индукционной пайки .....	14
1.3 Индукторы для пайки .....	15
1.4 Область применения индукционной пайки.....	16
1.5 Достоинства и недостатки пайки методом индукционного нагрева .....	17
1.6 Анализ конструктивно-технологических характеристик установок индукционного нагрева .....	20
1.7 Постановка задач на проектирование .....	22
1.8 Патентно-информационный обзор.....	23
2. Конструкторско-технологический раздел .....	37
2.1 Технология изготовления штуцеров .....	37
2.2 Разработка принципиальной технологической схемы установки для индукционной пайки .....	42
2.3 Расчет основных параметров индуктора для пайки фланцев штуцеров ...	47
2.4 Проектирование набора индукторов .....	53
2.5 Разработка конструкции установки для индукционной пайки .....	57
2.6 Выбор и обоснование вспомогательных материалов .....	60
2.7 Техника безопасности при работе с установками индукционного нагрева .....	61
3. Технология применения и ремонт установки для индукционной пайки .....	63
3.1 Принцип работы установок для индукционной пайки .....	63
3.2 Технология применения индукционного нагрева для пайки фланцев штуцеров .....	65
3.3 Возможные неполадки при эксплуатации .....	66
3.4 Разработка мероприятий по техническому обслуживанию, текущему и капитальному ремонту .....	67

Заключение .....	72
Список использованных источников .....	74
Приложение А. Графический материал.....	77



## ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в нефтегазовой отрасли применяется большое количество различного оборудования, которое необходимо соединять в единый целостный комплекс, выполняющий свое техническое предназначение. Это и составные части трубопроводной системы, и детали насосного и перерабатывающего нефтегазового оборудования. Данные соединения формируются на основе различных тепловых процессов, основными из которых являются сварка и пайка.

Сварка нашла широкое применение за счет простоты процесса и отсутствия необходимости использования большого количества дополнительных расходных материалов. Этот вид соединения оборудования как ни один другой по сей день является самым востребованным не только в нефтегазовой отрасли, но и в других отраслях производства.

При использовании стандартных методов сварки не всегда достигается требуемое качество соединений. Поэтому необходимо применять современные, наукоемкие и высокоточные способы, одним из которых является пайка методом индукционного нагрева.

В нефтегазовой отрасли индукционную пайку можно применять для соединения фланцев с трубами, для формирования переходов, тройников, в некоторых случаях для фланцевых заглушек, для спайки пучков труб теплообменных аппаратов и различных видов оборудования.

При использовании индукционного нагрева появляется возможность плавления высокотемпературных припоев, с разницей температуры плавления между основным материалом и припоем 20-50 °С, что позволяет снизить требования к внешним условиям и повысить надежность технологического оборудования. Индукционная пайка может найти широкое применение в нефтегазовой промышленности, повысить надежность оборудования и, в конечном счете, существенно повысить эффективность нефтегазодобычи и переработки.

Цель работы: повышение качества соединения фланцев с патрубками штуцеров сосудов и аппаратов, работающих под давлением.

Задачи работы:

- разработка принципиальной технологической схемы установки для индукционной пайки;
- расчет основных параметров индуктора для пайки фланцев штуцеров;
- проектирование набора индукторов;
- разработка конструкции установки для индукционной пайки;
- выбор и обоснование вспомогательных материалов (флюс, припой);
- технология применения и ремонт установки для индукционной пайки;
- разработка мероприятий по техническому обслуживанию, текущему и капитальному ремонту.

## **1 Анализ предметной области**

### **1.1 Анализ существующих способов получения неразъемных соединений**

В настоящее время существуют различные способы получения неразъемных соединений оборудования, самыми распространенными из которых являются: ручная дуговая сварка, газовая сварка и плазменная сварка. Для выявления преимуществ индукционной пайки в сравнении с широко распространенными способами получения неразъемных соединений проведем сравнительный анализ данных способов.

Все процессы сварки металлов осуществляются за счет введения термической или механической энергии, либо той и другой одновременно. Основными критериями выбора сварочного процесса для изготовления конкретного изделия являются: техническая возможность применения процесса; качество получаемого соединения; энергетическая и экономическая эффективности процесса. Чтобы найти оптимальное решение, необходимо проанализировать только последние критерии, так как выполнение первых двух является обязательным. Для сравнительной оценки различных видов сварки целесообразно применять удельные показатели эффективности. Подсчет удельных затрат энергии, труда или средств на единицу площади соединения дает возможность получить универсальные критерии эффективности любого способа, которым соединение выполняется.

Энергетическая эффективность определяется общими затратами энергии в расчете на единицу площади соединения.

Экономическая эффективность оценивается производительностью процесса и удельными затратами на 1 м длины шва или на 1 кг наплавленного металла.

Сравнение эффективности различных сварочных процессов показывает, что процессы сварки плавлением более энергоемки, чем механические и термомеханические. Например, для выполнения стыкового соединения

стальных стержней диаметром 20 мм дуговой сваркой требуется удельная энергия, равная 1800 Дж/мм<sup>2</sup>, контактной стыковой сваркой оплавлением — около 400 Дж/мм<sup>2</sup>, сваркой трением — примерно 130 Дж/мм<sup>2</sup>. Диаграмма затрат удельной энергии при различных способах сварки плавлением приведена на рис. 1, где  $\epsilon_0$  — общая удельная энергия (Дж/мм<sup>2</sup>),  $\epsilon_3$  — удельная энергия, введенная в заготовку (Дж/мм<sup>2</sup>).

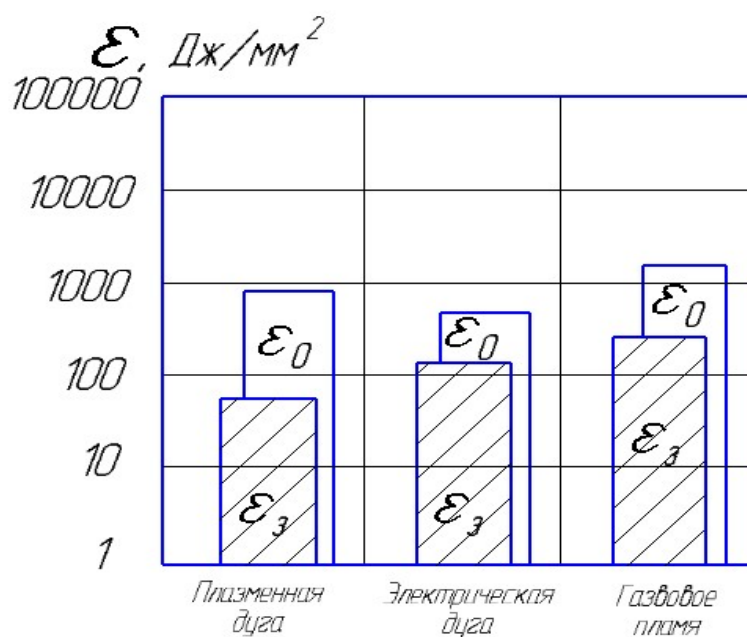


Рисунок 1 – Диаграмма затрат удельной энергии ( $\epsilon_3$  и  $\epsilon_0$ ) при различных способах однопроводной сварки стали

Источники энергии для сварки обычно характеризуются эффективной тепловой мощностью  $g$ , наибольшей удельной мощностью в пятне нагрева и площадью последнего. Энергетические характеристики основных термических источников энергии для сварки и резки представлены в табл. 1. Их сравнение показывает, что наибольшую удельную мощность в пятне нагрева имеет электрическая и плазменная дуга [1].

Таблица 1 - Сравнительные характеристики источников энергии для сварки

Источник энергии	Температура, °С	Наименьшая площадь пятна нагрева, см <sup>2</sup>	Наибольшая удельная мощность в пятне, кВт/см <sup>2</sup>
Кислородно- ацетиленовое пламя	3000...3500	10 <sup>-2</sup>	50
Электрическая дуга	6000...7000	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>2</sup>
Плазменная дуга в газах: водород, азот	5000...8000	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>2</sup>
аргон, гелий	10000...20000		

При выборе источника энергии для сварки конкретных изделий следует учитывать техническую возможность применения данного источника, эффективность процесса (энергетическую и экономическую), а также качество и надежность получаемых изделий.

Концентрация энергии термических источников может оцениваться плотностью мощности в пятне нагрева. Однако сварка возможна только до плотности мощности 102...104 Вт/мм<sup>2</sup>, так как большие плотности мощности приводят к выплескам и интенсивному испарению материала, полезному лишь при резке и размерной обработке изделий. Плотность мощности луча и энергетические коэффициенты наплавки, расплавления и другие пригодны для оценки только отдельных видов источников энергии или методов сварки. Для оценки эффективности разных классов сварочных процессов и разных методов сварки и пайки целесообразно использовать значения удельной энергии  $\epsilon_{св}$  и  $\epsilon_{п}$ , необходимой при сварке данного соединения [2].

Исходя из всего вышесказанного необходимо и целесообразно провести сравнительный анализ распространенных методов сварки с индукционной пайкой по следующим критериям: температура осуществления способа, средняя ширина шва, эффективное КПД, минимальная удельная энергия. Сведем полученные сведения в сравнительную таблицу (табл. 2).

Таблица 2 - Характеристики эффективности способов получения неразъемных соединений

Способ	Температура, °C	Средняя ширина шва, см	Эффективное КПД	Минимальная удельная энергия, кДж/см <sup>2</sup>
Газовая сварка	3000...3500	2,0	0,45-0,65	95,0
Дуговая сварка	6000...7000	2,0	0,4-0,7	128,5
Плазменная сварка	5000...20000	1,5	0,5-0,75	60,0
Индукционная пайка	до 1100	от 0,05	0,70-0,85	42,0

Таким образом, проведя сравнительный анализ существующих методов можно сделать вывод, что применение индукционной пайки может повысить эффективность, точность и качество получения неразъемных соединений за счет наименьшего расхода минимальной удельной энергии на квадратный сантиметр нагреваемой поверхности и минимально возможной толщины паяного шва.

## 1.2 Анализ основных характеристик индукционной пайки

Индукционная пайка производится с нагревом паяемого участка в катушке-индукторе. Через индуктор пропускается ток высокой частоты, в результате место пайки нагревается до необходимой температуры. Предохранение изделия от окисления достигается за счет ведения процесса нагрева в вакууме или в защитной среде и применения флюсов. Индуктор имеет вид петли или спирали из красной меди. Формы и размеры индуктора зависят от конструкции паяемого изделия [3].

Схема пайки с индукционным нагревом приведена на рисунках 2а – 2в.

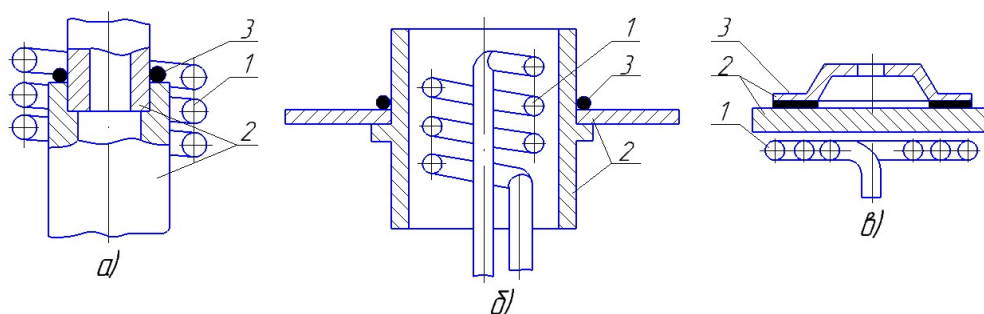


Рисунок 2 - Основные виды индукторов для пайки

1 – индуктор; 2 – детали; 3 – припой

При индукционной пайке в зависимости от типа соединяемых деталей в качестве припоя могут использоваться проволока (рисунок 2а и 2б) и плоские кольца (рисунок 2в). Во всех случаях детали помещают в магнитное поле индуктора. В результате воздействия на металл изделия магнитного поля образуются вихревые токи, которые и вызывают нагрев деталей. Интенсивность нагрева зависит от типа индуктора, мощности генератора, рода металла, размера конструкции и т. д. Требуемую равномерность нагрева регулируют величиной тока. При очень быстром нагреве иногда возможна пайка без флюса, так как при применении легкоплавких припоев окисление не

успевает произойти. В других случаях паять необходимо при защите флюсами, в камерах с инертным газом (аргоном) или в вакуумных камерах [4].

### **1.3 Индукторы для пайки**

Индуктор – это приспособление для индукционного нагрева. Индукторы изготавливаются из медной трубки. Самый простой вид индукторов - это индуктор в виде кольца. Так же индукторы могут иметь самые разные формы (зависит от той детали, которую нужно нагреть).

Переменный ток, проходя через индуктор создает магнитное поле. Максимальная напряженность поля будет находится около самой медной трубки внутри кольца.

Индукторы можно разделить на два вида:

1. Индуктор одновременного нагрева – тогда, когда площадь нагреваемой поверхности индуктора равна площади нагреваемой детали.

2. Индуктор непрерывно-последовательного нагрева – площадь индуктора меньше, чем площадь поверхности детали, и в данном случае деталь перемещают вдоль индуктора, постепенно нагревая всю деталь.

Условия, которые должны быть выполнены при производстве индукторов:

- каждый индуктор должен обладать системой водоохлаждения. Внутри медной трубки, из которой изготовлен индуктор, должна протекать жидкость, которая предохраняет индуктор от перегрева;

- между витками индуктора должна быть электрическая изоляция;

- так же не маловажна и тепловая изоляция между индуктором и нагреваемой деталью;

- и еще одно важное условие это то, что каждый индуктор должен быть согласован с индукционной установкой.

Эти моменты должны учитываться еще на стадии проектирования индукционной установки.



Основой для проектирования индукторов является поверхностный эффект. Он заключается в том, что вторичный ток в заготовке имеет то же направление, что и ток в индукторе, который расположен рядом. При этом наведенный ток как бы "притягивается" к индуктору. Это связано с тем, что близко расположенные токи, текущие в одну сторону, притягиваются. Если индуктор погружен в жидкий металл и на него подается большая мощность (десятки кВт), металл под действием МГД сил отжимается от индуктора и небольшие его количества могут даже зависнуть над индуктором в воздухе. Применяя индукторы специальной формы, можно провести сверхчистую плавку небольшого количества металла, левитирующего в вакууме или защитном газе. Для увеличения КПД индуктора, необходимо как можно ближе расположить его рядом с заготовкой. На практике это от 2 мм до нескольких сантиметров.

Питание к индуктору подводится как правило с помощью высокочастотного трансформатора без сердечника (с воздушным сердечником), первичной обмоткой которого служит катушка колебательного контура, а вторичной - один широкий виток из медного листа (электромагнитный концентратор или концентратор вихревых токов). Индуктор должен быть согласован со вторичной обмоткой высокочастотного трансформатора, т.е. иметь примерно такую же индуктивность. Чтобы уменьшить индуктивность многovitковых индукторов, их изготавливают из нескольких параллельных витков [5].

#### **1.4 Область применения индукционной пайки**

Процесс индукционной пайки предусматривает возможность простого и надежного регулирования и не требует предварительного нагрева спаиваемых деталей. Как правило, эта технология применяется для спаивания медной проволоки диаметром около 0,1 - 15 мм. Тонкая проволока или токопроводящие дорожки печатных плат лишь условно поддаются индукционной пайке. Для чувствительных электронных компонентов, которые

могут быть повреждены индукционными токами, индукционная пайка непригодна. Посредством селективной индукционной пайки, как правило, изготавливаются электрические узлы низкого напряжения и такие электрические компоненты, как, например, штекерные разъемы. Эта технология применяется, например, производителями электрических приборов, а также автомобильных комплектующих [6].

Применение индукционной пайки в настоящее время широко распространено и как правило используется в следующих областях промышленности:

- массовое производство деталей простой конфигурации;
- машиностроение, автомобилестроение;
- металлообрабатывающая промышленность;
- электротехническая промышленность;
- изготовление медицинского оборудования и др.

Использование индукционной пайки обеспечивает соединение любых токопроводящих материалов - любых металлов и сплавов, а также керамику с металлическим напылением. Кроме того, индукционная пайка позволяет:

- нагревать только конкретную часть детали;
- контролировать технологический процесс пайки с помощью измерительных приборов;
- снизить участие человека в процессе.

Благодаря этому индукционная пайка широко используется в таких отраслях промышленности, как авиационная и автомобильная [7].

### **1.5 Достоинства и недостатки пайки методом индукционного нагрева**

У установок индукционного нагрева не так много недостатков, но они все же есть. К недостаткам можно сразу же отнести повышенную сложность оборудования, из-за которой необходим квалифицированный персонал для настройки и ремонта. При плохом согласовании индуктора с заготовкой

требуется большая мощность на нагрев, чем в случае применения для той же задачи электрических дуг и т. п.

Еще один минус установок индукционного нагрева – высокая цена. Однако производители пытаются компенсировать стоимость своего оборудования их качеством. Нужно заметить, что приобретая один раз индукционную установку, которая стоит больше, чем, например, электрическая, мы все равно сэкономим свои финансы, ведь индукционное оборудование отлично позволяет экономить электричество.

Выделим основные недостатки:

- повышенная сложность оборудования, необходим квалифицированный персонал для настройки и ремонта.

- при плохом согласовании индуктора с заготовкой требуется большая мощность на нагрев, чем в случае применения для той же задачи ТЭНов, электрических дуг и электронагревательных спиралей.

- требуется мощный источник электроэнергии, который в полевых условиях может отсутствовать. В этом случае применение, например, газовых горелок более оправдано.

- несмотря на небольшие размеры индуктора, агрегат индукционного нагрева в целом достаточно громоздок и маломобилен, и больше подходит для стационарной установки в помещении, чем для выездных работ.

Несмотря на существующие недостатки, индукционная пайка обладает множеством преимуществ по сравнению с другими технологиями пайки и сварки. Так, например, в отличие от пайки паяльником при ней возможен бесконтактный нагрев спаиваемых деталей. При этом обеспечиваются абсолютно постоянный подвод энергии к спаиваемым деталям, и не происходит износа жала паяльника. При индукционной пайке, в отличие от газопламенной, не сгорает флюс, и отсутствуют колебания плотности энергии, свойственные газовому пламени.

Индукционная пайка может применяться для соединения широкого диапазона металлов: от черных до цветных и отличается точностью и

быстротой выполнения. Нагреву подвергаются только узкие выделенные участки, при этом смежные участки и материалы не подвергаются воздействию нагрева. Технологично правильно спаянные соединения обладают высокой прочностью, герметичностью и устойчивостью к коррозии. Кроме того, они отличаются высоким качеством исполнения и не требуют дальнейшего фрезерования, шлифования или отделочной обработки. Индукционное оборудование для пайки может быть идеально встроено в производственные линии [8].

При использовании индукционного нагрева появляется возможность плавления высокотемпературных припоев, с разницей температуры плавления между основным материалом и припоем 20-50 °С, что позволяет снизить требования к внешним условиям и повысить надежность технологического оборудования.

Основные преимущества индукционной пайки заключаются в следующем:

- возможность нагревать не всю деталь, а конкретную область;
- возможность контролировать действие, как с помощью приборов, так и лично;
- возможность снизить участие человека в процессе;
- высокая скорость нагрева деталей;
- высокая производительность;
- возможность автоматизации и механизации работы;
- возможен нагрев в атмосфере защитного газа, в окислительной (или восстановительной) среде, в непроводящей жидкости, в вакууме;
- удобство эксплуатации за счет небольшого размера индуктора.
- индуктор можно изготовить особой формы – это позволит равномерно прогревать по всей поверхности детали сложной конфигурации, не приводя к их короблению или локальному непрогреву;
- лёгкая автоматизация оборудования и конвейерных производственных линий. Простота управления циклами нагрева и охлаждения. Простая

регулировка и удерживание температуры, стабилизация мощности, подача и съём заготовок.

## **1.6 Анализ конструктивно-технологических характеристик установок индукционного нагрева**

Индукционные нагревательные установки (ИНУ) широко применяются в различных технологических процессах в машиностроительной и других отраслях промышленности. Их подразделяют на два основных типа: установки сквозного и поверхностного нагрева.

Установки для пайки, закалки и сквозного нагрева в зависимости от назначения питаются от сетей переменного тока на частоте от 50 Гц до сотен кГц. Питание установок повышенной и высоких частот производится от тиристорных или машинных преобразователей. Установки относятся к электроприемникам II категории по степени надежности электроснабжения.

По сравнению с другими видами нагрева (в пламенных печах и печах резисторного нагрева) индукционный нагрев имеет малый угар металла и меньший брак из-за попадания окалины в обрабатываемое изделие. Индукционные установки сквозного нагрева применяются для нагрева заготовок под последующую пластическую деформацию: ковку, штамповку, прессовку, прокатку и т. д. В зависимости от геометрических параметров нагреваемых деталей и их материала источники питания индукционных установок выполняются на частоту 50–10000 Гц. Для установок сквозного нагрева выбор рабочей частоты производят так, чтобы выделение теплоты происходило в слое достаточной толщины по сечению детали при отсутствии большого градиента температуры между поверхностью и слоем определенной

толщины. При этом будет меньше перегрев поверхности заготовки и выше КПД установки.

По режиму работу установки сквозного нагрева подразделяют на установки периодического и непрерывного действия.

В установках периодического действия нагревается только одна заготовка или ее часть. При нагреве заготовок из магнитного материала происходит изменение потребляемой мощности: вначале она возрастает, а затем по достижении точки Кюри снижается до 60–70 % от начальной. При нагреве заготовок из цветных металлов мощность в конце нагрева несколько увеличивается за счет роста удельного электрического сопротивления [9].

В установках непрерывного действия одновременно находится несколько заготовок, расположенных в продольном или поперечном магнитном поле (рис. 3). В процессе нагрева они перемещаются по длине индуктора, нагреваясь до заданной температуры. В нагревателях непрерывного действия полнее используется мощность источника питания, поскольку средняя мощность, потребляемая ими от источника питания, выше, чем средняя мощность, потребляемая нагревателем периодического действия.

Индукционные нагреватели непрерывного действия имеют более высокий КПД источника питания. Производительность выше, чем у установок периодического действия. Возможно питание нескольких нагревателей от одного источника, а также подключение нескольких генераторов к одному нагревателю, состоящему из нескольких секций (рис. 3 в)

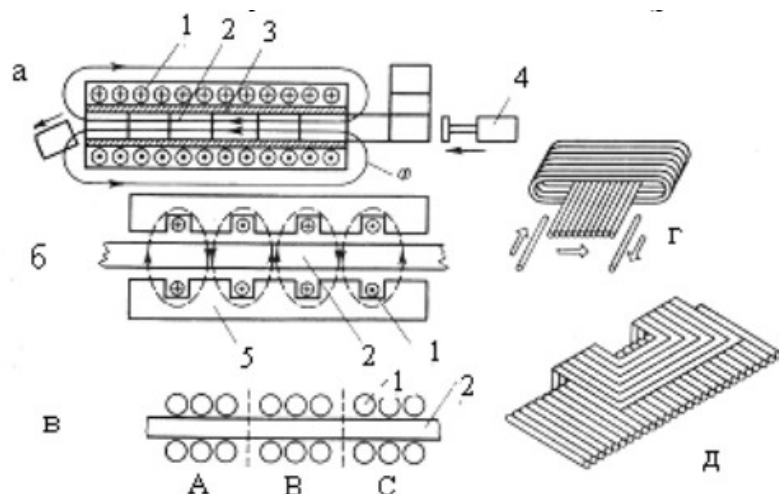


Рисунок 3 - Схемы индукционных нагревательных установок непрерывного действия в поперечном (а, б, в) и продольном магнитном поле:

1 – индуктор; 2 – нагреваемое тело; 3 – теплоизоляция; 4 – толкатель;  
5 – магнитопровод

Конструкция индуктора для сквозного нагрева зависит от формы и размеров деталей. Индукторы выполняют круглого, овального, квадратного или прямоугольного сечения. Для нагрева концов заготовок индукторы выполняют щелевыми или петлевыми (рис. 3 г, д).

Индукционный поверхностный нагрев сопровождается проявлением поверхностного эффекта и эффекта близости. Вследствие поверхностного эффекта ток в нагреваемом изделии распределяется неравномерно. Наибольшая плотность тока имеет место в поверхностных слоях изделия. При использовании высокой частоты в поверхностных слоях можно получить большие плотности тока, обеспечивающие быстрый нагрев металла. Индукционные установки поверхностного нагрева применяются для нагрева деталей под последующую термохимическую обработку (закалка, цементация, азотирование и т.п.).

Индукционные установки имеют, как правило, низкий коэффициент мощности, причем значения его изменяются в довольно широких пределах в

зависимости от частоты тока, зазора между индуктором и изделием, магнитной проницаемости, удельного сопротивления и размеров нагреваемых изделий. Зависимость коэффициента мощности от частоты тока и диаметра нагреваемых изделий позволяет правильно выбрать реактивную мощность компенсирующей конденсаторной батареи, руководствуясь не только минимальным расходом электроэнергии, но и снижением стоимости установки и сокращением необходимых производственных площадей [10].

### **1.7 Постановка задач на проектирование**

Целью данной бакалаврской работы является повышение качества соединения фланцев с патрубками штуцеров сосудов и аппаратов, работающих под давлением.

Для достижения поставленной цели нужно решить следующие задачи:

- разработка принципиальной технологической схемы установки для индукционной пайки;
- расчёт основных параметров индуктора для пайки фланцев штуцеров;
- проектирование набора индукторов;
- разработка конструкции установки для индукционной пайки;
- выбор и обоснование вспомогательного материалов (флюсы, припой, средства автоматизации технологического процесса, средства обеспечения безопасности);
- технология применения и ремонт установки для индукционной пайки;
- разработка мероприятий по техническому обслуживанию, текущему и капитальному ремонту.

Для осуществления поставленных задач первым шагом является проведение патентно-информационного обзора существующих установок для индукционной пайки, а также способов ее осуществления.

### **1.8 Патентно-информационный обзор**

**Патент № 1787078: «Устройство для индукционной пайки»**



Изобретение относится к области пайки металлов, в частности к индукционной пайки, и может быть использовано для автоматической пайки изделий, например, деталей электроизмерительных приборов.

Технической задачей является повышение производительности путем сокращения времени процесса пайки.

Техническим решением является устройство, содержащее основание, на котором установлен поворотный стол с гнездами для паяемых деталей, индуктор, механизм поджатия деталей, введен стационарный узел охлаждения спаянных деталей, выполненный в виде прижимных колодок, установленных с возможностью вертикального перемещения над гнездами стола с помощью траверсы, закрепленной на основании, при этом механизм поджатия деталей выполнен в виде подпружиненных относительно стенок гнезд ползунов с роликами и кулачка, неподвижно закрепленного на оси поворотного стола, а каждый ролик установлен с возможностью взаимодействия с кулачком.

Устройство работает следующим образом: в исходном состоянии (за исходное состояние принимаем состояние, когда процесс пайки отсутствует, т. е. отсутствуют токи высокой частоты в индукторе 2) детали 5, предназначенные для пайки, находятся в позиции В, Г, а прижимные колодки 1 находятся в нижнем положении. По внутренним каналам колодок 1 циркулирует вода и проходит воздух. В позиции В, Г, И, К ползуны 6 под действием кулачка 4 через ролики 3 отодвинуты от оси поворотного стола 11, т. е. в этих позициях детали 5 не прижаты. Зажатие деталей 5 происходит в позиции Д.

При подаче давления воздуха в пневмоцилиндры 9 штоки 10 поднимают прижимные колодки 1, а поворотный стол 11 поворачивается на один шаг против часовой стрелки ( $1/8$  оборота) вместе с кулачком 4. После поворота положение стола 11 фиксируется, в пневмоцилиндры 9 прекращается подача давления воздуха в штоки 10, а следовательно, и колодки 1 опускаются, кулачок 4 поворачивается по часовой стрелке на шаг, воздействуя через ролики 3 на ползуны 6, которые зажимают детали 5.

При занятии деталями 5 позиции Д и фиксированном положении поворотного стола 11 включается индуктор 2 и происходит нагрев деталей 5, т. е. начинается процесс пайки. Время нагрева паяемых деталей может регулироваться с помощью реле времени.

После нагрева детали 5 из позиции Д переходят в позицию Е, затем Ж и З, где с помощью прижимных колодок 1, положение которых относительно деталей 5 определяется траверсой 8, происходит их охлаждение. В позиции И спаянные детали снимаются с поворотного стола 11. В зависимости от требуемой скорости охлаждения спаянных деталей количество прижимных колодок 1 может меняться [11].

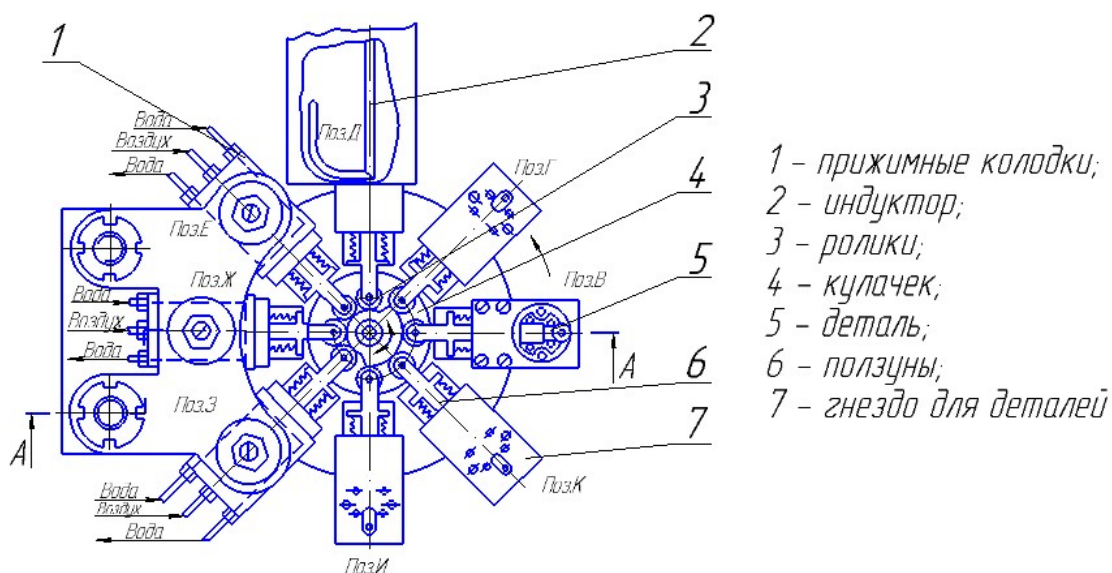


Рисунок 4 – Общий вид устройства для индукционной пайки

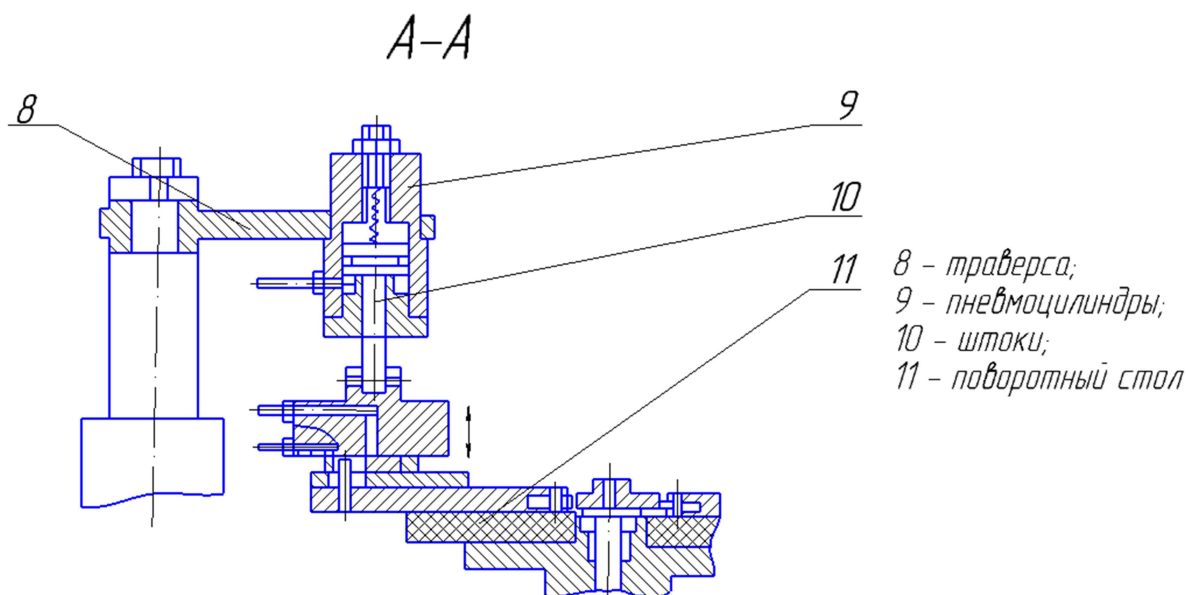


Рисунок 5 – Узел охлаждения и механизм прижатия деталей

### Патент № 603514: «Установка для индукционной пайки»

Изобретение относится к области пайки.

Технической задачей является повышение качества пайки, в особенности тонкостенных изделий, и КПД установки.

Техническое решение достигается благодаря тому, что в предлагаемой установке для индукционной пайки каждое гнездо для паяемых деталей снабжено индуктором со свободными токопроводящими пластинами, а генератор ТВЧ снабжен зажимами с пневмоприводом.

Устройство работает следующим образом: при подходе очередного гнезда 3 со встроенным индуктором на позицию пайки механизм токопровода 5 соединяет токопроводящие пластины 9 индуктора 8 с выходными шинами 11 генератора ТВЧ 6. Паяемый сильфонный узел, помещенный в неметаллический корпус 7 посадочного гнезда 3, нагревается, припой плавится и заполняет зазоры в месте соединения сильфона с арматурой. По истечению времени пайки механизм токопровода 5 разжимается, освобождая токопроводящие пластины 9 индуктора 8. Стол 2 поворачивается подавая на

позицию пайки новый узел. Операции по загрузке-выгрузке паяемых узлов производятся автоматически или оператором.

Паяльная установка описанной конструкции обеспечивает прецизионный нагрев паяемого сильфонного узла, так как система индуктор-посадочное гнездо монолитна и точность ее изготовления может быть очень высокой [12].

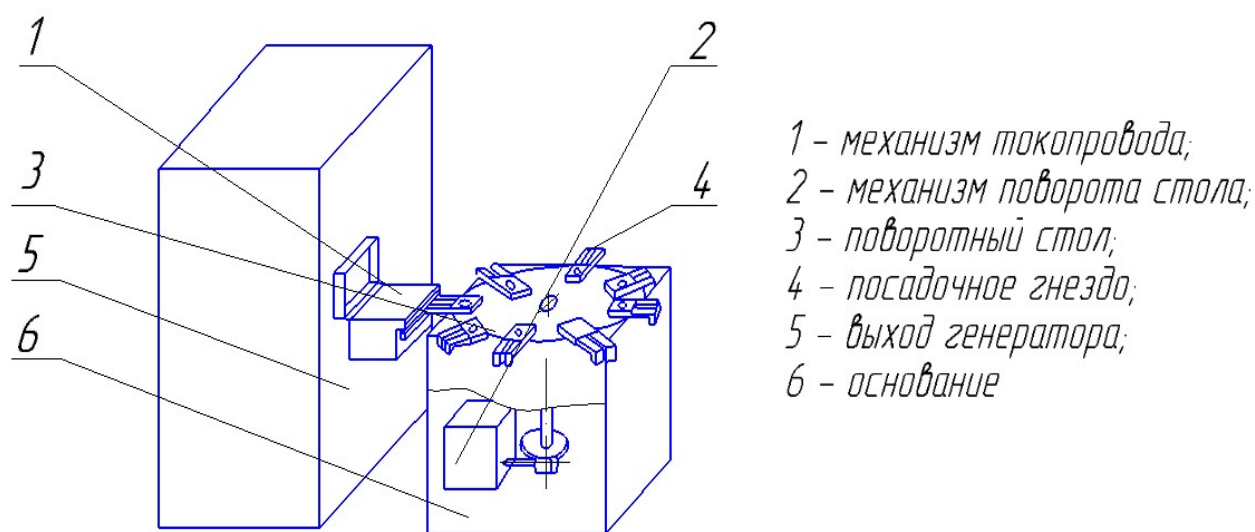


Рисунок 6 – Общий вид установки для индукционной пайки

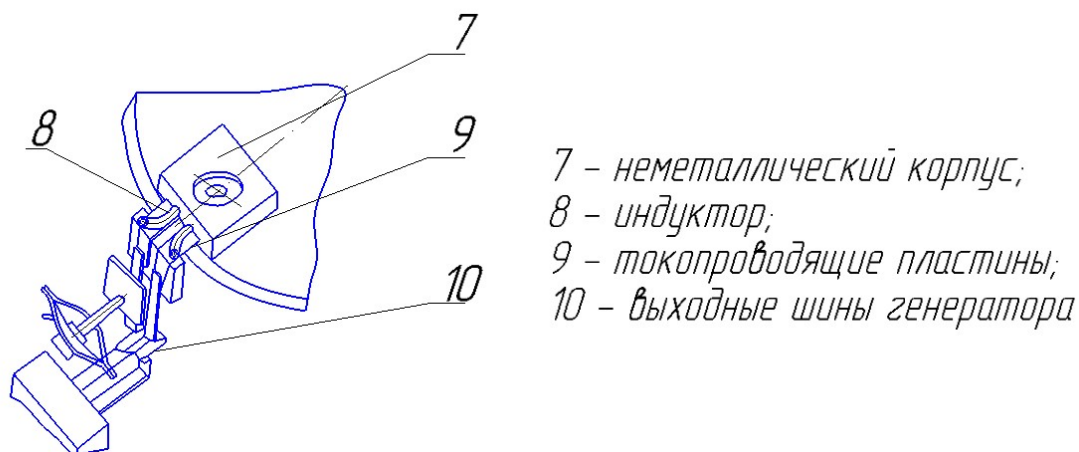


Рисунок 7 – Принцип соединения выводов индуктора с шинами генератора

**Патент № 2297308: «Устройство для индукционной пайки соединительной муфты волновода»**

Изобретение относится к индукционной пайке и может найти применение в технологиях изготовления секций волноводов и других тонкостенных металлических изделий.

Технической задачей изобретения является предотвращение расплава соединяемых пайкой деталей в процессе индукционного нагрева при близости температур плавления материалов деталей и припоя.

Техническим решением является устройство для индукционной пайки соединительной муфты и трубы волновода, содержащее охватывающий трубу волновода индуктор, выполненный в виде охлаждаемого токопровода, изогнутого по контуру сечения трубы волновода и помещенного в паз соосного магнитопровода, снабжено подложкой из черного металла с проходным окном для трубы волновода и соединительной муфты. При этом магнитопровод установлен таким образом, что его рабочая поверхность одновременно обращена к поверхностям соединительной муфты, трубы волновода и подложки из черного металла с обеспечением преимущественного нагрева индуктором подложки.

Устройство работает следующим образом: высокочастотный ток в токопроводе 5 возбуждает в разомкнутом магнитопроводе 4 переменное магнитное поле, индуцирующее в чугунной подложке 6, трубе волновода 2, соединительной муфте 3 и припое 1 вихревые токи, под действием которых происходит их разгорев. Преимущественно греется подложка 6, от которой за счет теплопередачи происходит основной нагрев трубы волновода 2 и соединительной муфты 3 до температуры плавления припоя [13].

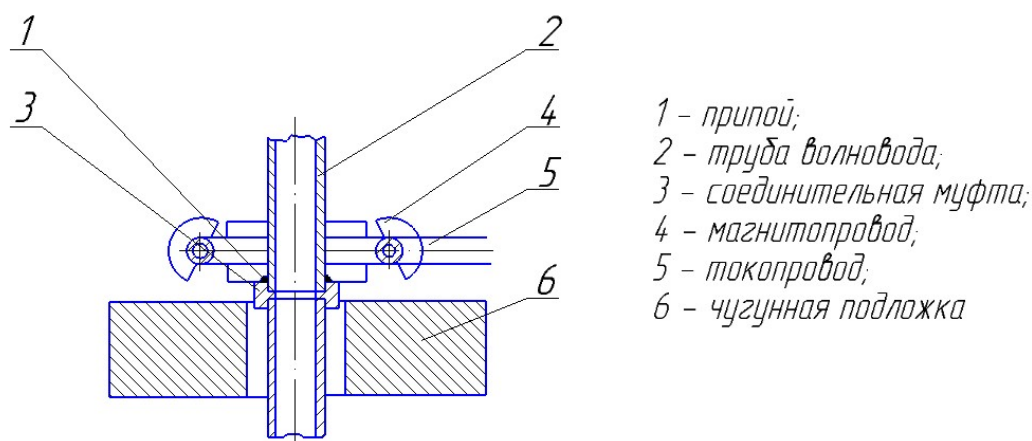


Рисунок 8 – Общий вид устройства для пайки соединительной муфты и трубы волновода

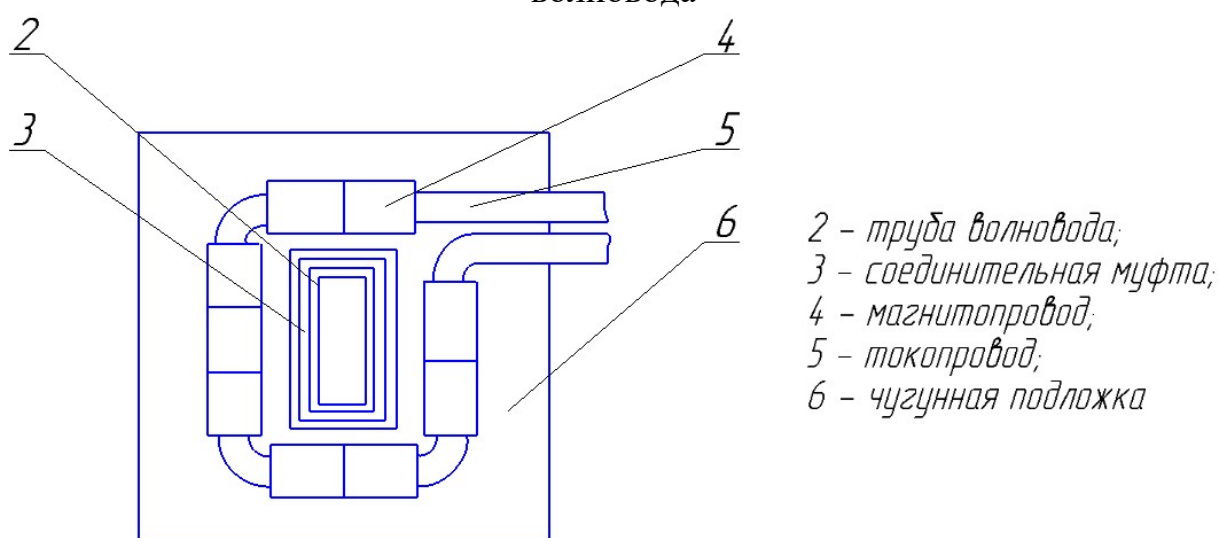


Рисунок 9 – Вид устройства сверху

### **Патент № 413001: «Установка для индукционной пайки трубчатых изделий»**

Изобретение относится к оборудованию для механизированной пайки с применением индукционного нагрева и может применяться в машиностроительной промышленности при автоматической пайке трубчатых изделий, в частности труб с фланцами и штуцерами.

Технической задачей изобретения является повышение качества пайки за счет точного автоматизированного дозирования припоя.

Техническим решением является установка для автоматической пайки изделий с применением индукционного нагрева, содержащее основание, индуктор, бункеры с порошковым припоем, электродвигатель, механизм подачи паяемых изделий под индуктор с зажимами для этих изделий и дозирующее устройство, смонтированное на основании, причем дозирующее устройство выполнено в виде двух подпружиненных кронштейнов, укрепленных на вертикальных осях и симметрично установленных по обеим сторонам механизма подачи паяемых изделий под индуктор, при этом каждый кронштейн снабжен профилированной пластиной и жестко связан с калиброванной трубкой, имеющей калиброванный конец и соединенной с бункерами для припоя с помощью гибких элементов, например резиновых трубок.

Установка работает следующим образом: при перемещении ленты 5 установленные в башмаки 4 паяемые детали 3 взаимодействуют с пластинами 1 кронштейнов 8, при этом калиброванные концы трубок 11, жестко связанных с кронштейнами 8, размыкаются, вследствие чего порошковый припой, поступающий из бункеров 6 по трубкам 11, подается в место пайки соединяемых деталей 3. При выходе из взаимодействия паяемых деталей 3 с профилированными пластинами 1 калиброванные концы трубок 11 смыкаются за счет пружин 2, и подача припоя прекращается. Детали 3, проходя через индуктор 9, нагреваются до температуры пайки. Припой, расплавляясь, заполняет зазоры в месте соединения, после выхода из индуктора детали свободно охлаждаются и выпадают из башмаков 4 в тару [14].

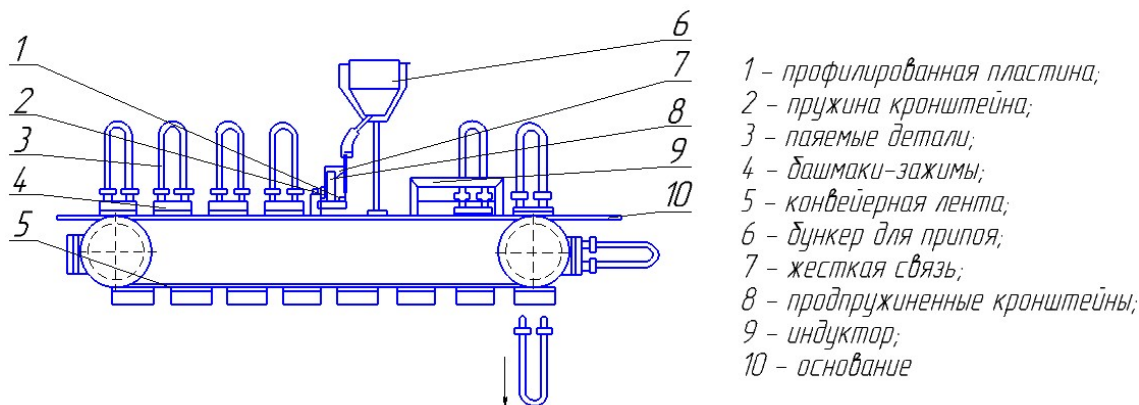


Рисунок 10 – Общий вид установки для индукционной пайки трубчатых изделий

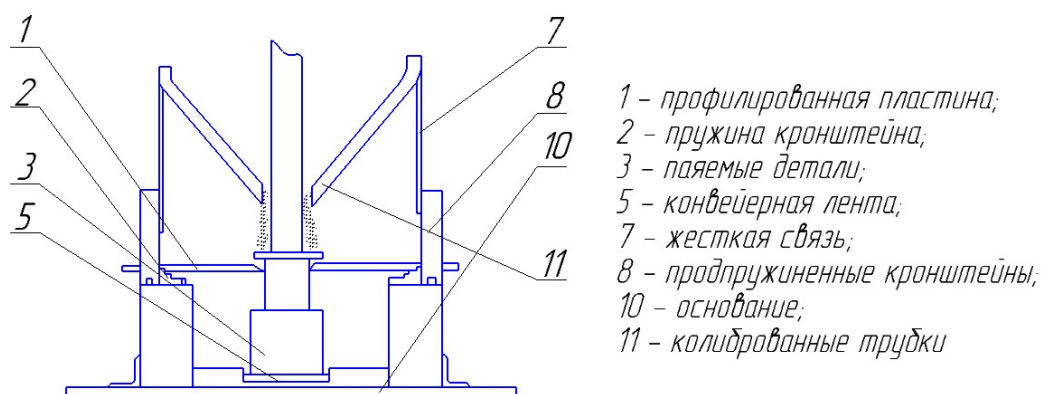


Рисунок 11 – Принцип взаимодействия паяемых деталей с дозирующим устройством

### Патент № 2686: «Способ пайки изделий»

Изобретение относится к области пайки изделий, преимущественно нахлесточного и телескопического типа, с нагревом энергией переменного магнитного поля в зазоре магнитопровода и может быть использовано в электротехнической и приборостроительной промышленности.

Технической задачей изобретения является получение технического результата, который выражается в повышении качества паяных соединений за счет увеличения площади растекания припоя под действием пондеромоторных сил и более полного заполнения им капиллярных зазоров в нахлесточных и телескопических соединениях, а также увеличения надежности изделий.

Техническое решение достигается за счет того, что изделие и припой нагревают энергией пересеченного магнитного поля в зазоре магнитопровода до температуры пайки и пропускают электрический ток через расплав припоя в направлении, перпендикулярном вектору индукции магнитного поля, с одновременным вращением изделий вокруг оси.

Предложенный способ используют для пайки нахлесточных и телескопических соединений с применением дозированных заготовок припоя. На рисунке 9 изображена схема реализации предлагаемого способа для нахлесточных соединений. Изделие 1 с припоем 2 в форме дозированной



заготовки помещают в переменное магнитное поле, создаваемое в зазоре магнитовода 3. Нагрев изделия и припоя до температуры пайки осуществляется за счет вихревых токов, индуцированных магнитным полем. Постоянный электрический ток пропускают через расплав припоя с помощью тоководов в направлении, перпендикулярном вектору магнитной индукции, одновременно вращая изделие 1 вокруг собственной оси с частотой  $\omega$ . Возникающие пондеромоторные силы действуют в плоскости изделия и в направлении, перпендикулярном вектору электрического тока, вращение изделия вокруг оси обеспечивает равномерное растягивание припоя по его поверхности за счет сил пондеромоторного натяжения.

В случае телескопического соединения (рис. 10) спаиваемые детали 1 и припой 2 в форме кольца располагают в зазоре магнитовода с электрическим зазором между деталями. Детали подключают к источнику тока, который начинает протекать через расплав после расплавления кольца припоя и затекания его в зазор между деталями.

Предлагаемый способ имеет следующие преимущества:

Во-первых, существенно улучшается качество паяных соединений за счет сокращения непропаев, несмачиваний и других дефектов.

Во-вторых, повышается эксплуатационная надежность изделий [15].

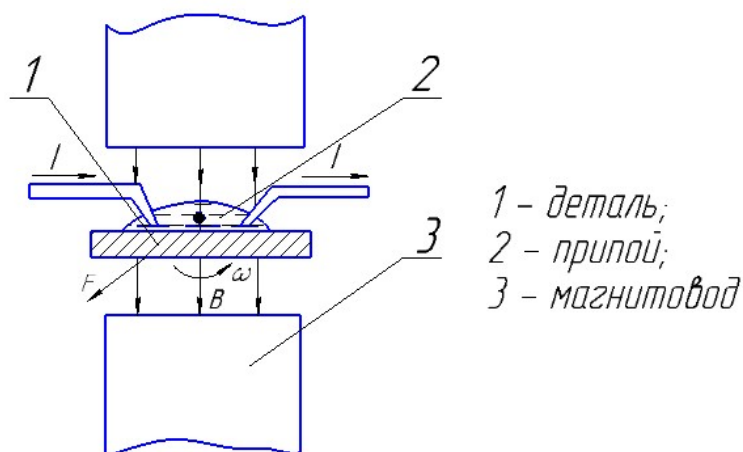


Рисунок 12 – Схема пайки нахлесточных соединений

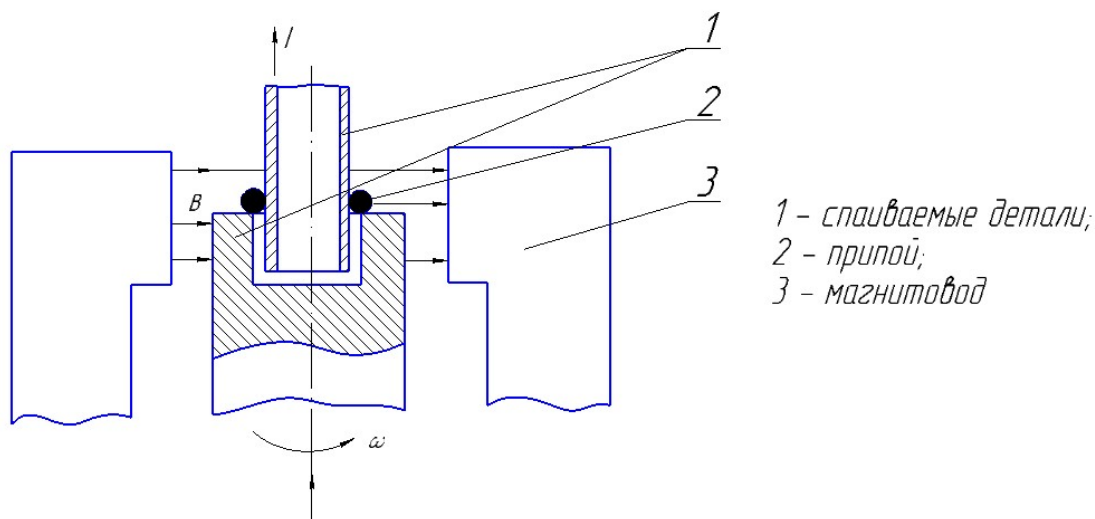


Рисунок 13 – Схема пайки телескопических соединений

### Патент № 413002: «Способ пайки труб»

Изобретение относится к области пайки изделий, преимущественно к пайке труб.

Технической задачей изобретения является повышение качества паяного соединения при пайке вертикальных швов высокотемпературными припоями

Техническое решение достигается путем обеспечения подачи флюса в зазор после размягчения припоя при нагреве по способу пайки труб, помещенных одна в другую, с предварительным размещением припоя в виде втулки и флюса в зоне соединения на верхнем конце внутренней трубы выполняют проточку, кольцо припоя впрессовывают в переходную часть между проточкой и стенкой трубы, а флюс помещают между припоем и внешней поверхностью внутренней трубы.

Предложенный способ используют для пайки труб, причем соединению подвергаются внешняя 1 и внутренняя 2 трубы. На верхнем конце внутренней трубы выполняют проточку для размещения в ней припоя и флюса. Припой выполнен в виде втулки 3, внутренний диаметр которой больше наружного диаметра трубы 2 в месте проточки. Кольцевое пространство между ними заполнено флюсом 4. Дном флюсовой камеры служит переходная часть между

проточкой и стенкой трубы 2. Сверху камера с флюсом может быть закрыта шайбой 5. Шайба 5 служит также для центрирования втулки припоя и для предотвращения растрескивания конца трубы 2 при развальцовке.

Флюс начинает вытекать из камеры перед началом расплавления припоя потому, что в это время, в результате растворения окиси и термического расширения, образуется неплотность в стыке втулки припоя с переходной частью трубы 2. Флюс может быть засыпан в камеру через воронку, надеваемую на втулку припоя, или пробку с выступающим конусом, вставляемую в отверстие трубы 2 [16].

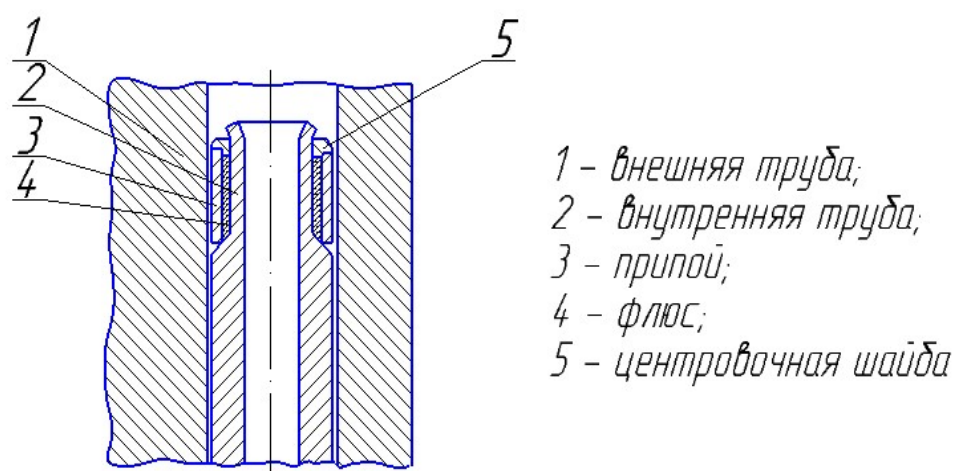


Рисунок 14 – Схема способа пайки труб

### **Патент № 1593813: «Способ пайки разнородных материалов»**

Изобретение относится к области машиностроения, в частности к области пайки тугоплавких металлов со сталью.

Технической задачей изобретения является повышение прочности соединения тугоплавкого металла со сталью.

Техническое решение достигается за счет того, что на детали из тугоплавкого металла выполняют глухие полости, которые перед сборкой под пайку, нанесением припоя и пайкой, заполняют армирующим материалом, в качестве которого берут материал сопрягаемой детали или наиболее близкий к

нему по химическому составу. Прочность паяного соединения, полученного с использованием данного способа, превышает прочность соединения, выполненного по однородной поверхности с медным покрытием, и прочность основного материала – молибденового сплава.

Устройство содержит деталь 1, выполненную из тугоплавкого металла, и соединяемую с ней стальную деталь 2. На паяемой поверхности детали 1 из тугоплавкого металла выполнены канавки 3, заполненные материалом 4 сопрягаемой детали 2 заподлицо с паяемой поверхностью. На паяемые поверхности деталей нанесено медное покрытие 5 и установлен припой в виде кольца 6 [17].

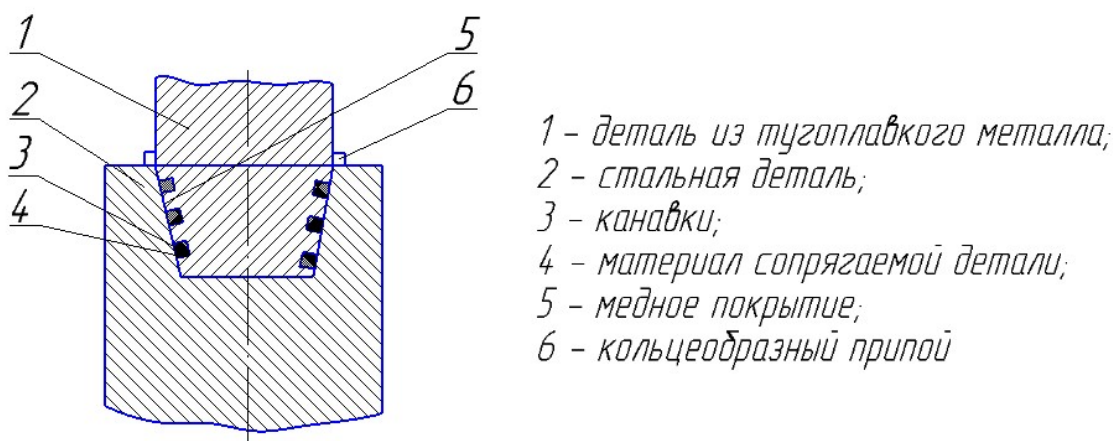


Рисунок 15 – Телескопическое соединение под пайку

### **Патент № 1639902: «Способ вакуумной капиллярной пайки»**

Изобретение относится к пайке, а именно к индукционной капиллярной пайке телескопических соединений с одновременным воздействием на соединяемые элементы ультразвуковыми колебаниями, и может быть использовано при изготовлении узлов электровакуумных приборов.

Технической задачей изобретения является повышение качества пайки за счет улучшения обезгаживания капиллярного зазора..

Техническое решение осуществляется следующим образом. В охватывающую деталь 1 вставляют охватываемую деталь 2, кольцо 6 припоя

установлено над капиллярным зазором 7 выше торца 3 охватывающей детали на расстоянии  $\lambda/8 < l < \lambda/4$ , где  $\lambda$  – длина волны ультразвуковых колебаний. Нагрев осуществляется индуктором 4. В процессе воздействия системой 5 ультразвуковых колебаний кольцо припоя перемещается к зазору. Кольцо припоя размещают на охватываемой детали таким образом, чтобы обеспечивалось его перемещение при воздействии ультразвуковых колебаний с заданной интенсивностью. При этом кольцо припоя размещают так, что узел колебаний при изменении частоты совмещен в начальный момент с плоскостью размещения кольца припоя. Ультразвуковые колебания обеспечивают перемещение кольца припоя в пучность колебаний, близкую к торцу капиллярного зазора. При расстоянии  $l > \lambda/4$  кольцо припоя перемещается от торца охватывающей детали, а при  $l < \lambda/8$  расстояние до торца охватывающей детали становится малым и кольцо не успевает нагреваться до заданной температуры за время движения.

В процессе пайки паяемые детали и кольцо нагревают до температуры на  $30 - 50^{\circ}\text{C}$  ниже температуры плавления припоя, выравнивая температуру паяемых деталей и кольца припоя. Снижение температуры ниже  $30^{\circ}\text{C}$  в условиях индукционного нагрева приводит к тому, что припой плавится и растекается по паяемой детали, не достигнув торца охватывающей детали. Повышение температуры выше  $50^{\circ}\text{C}$  требует возбуждения ультразвуковых колебаний высокой интенсивности, что вызывает распыление припоя.

Способ капиллярной пайки имеет следующие технико-экономические преимущества. Обеспечивается лучшее обезгаживание и качественное формирование паяного шва телескопического соединения из труднопаяемых материалов. Повышается выход годных узлов на 20-30%. Упрощается конструктивное выполнение оборудования для пайки в вакууме и формиргазе [18].

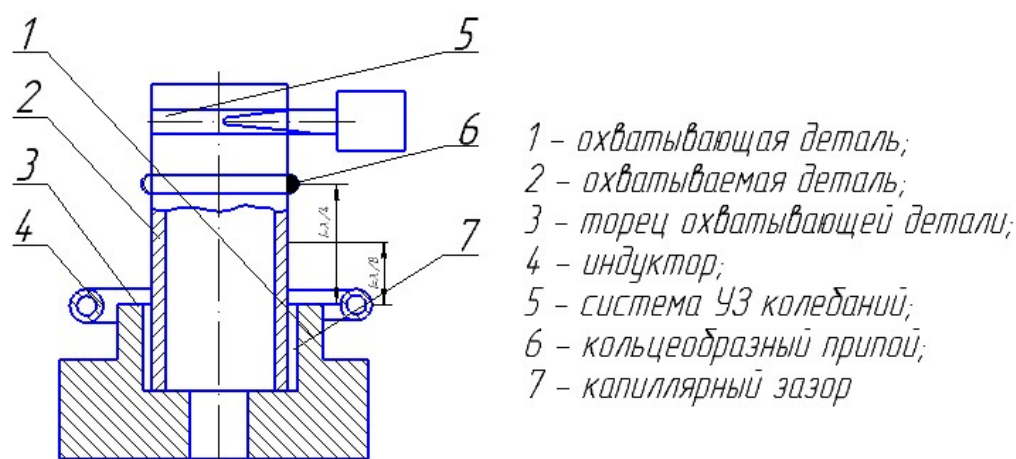


Рисунок 16 – Схема пайки способом вакуумной капиллярной пайки

## 2 Конструкторско-технологический раздел

### 2.1 Технология изготовления штуцеров

Для соединения трубопровода, вентилях, различных емкостей и других деталей газовых, жидкостных и преобразующих систем используют небольшой соединитель, который называется штуцером.

Штуцера для сосудов и аппаратов представляют из себя деталь цилиндрической формы, одна из сторон которой обработана для соединения с другой деталью. Штуцера изготавливаются по АТК 24.218.06-90 и могут быть

изготовлены по пяти типам, каждый из которых может быть изготовлен в нескольких исполнениях.

Штуцера применяются в нефтеперерабатывающей, нефтехимической, химической, газовой и других смежных отраслях промышленности.

В зависимости от технического предназначения, штуцера могут выполняться в различных исполнениях.

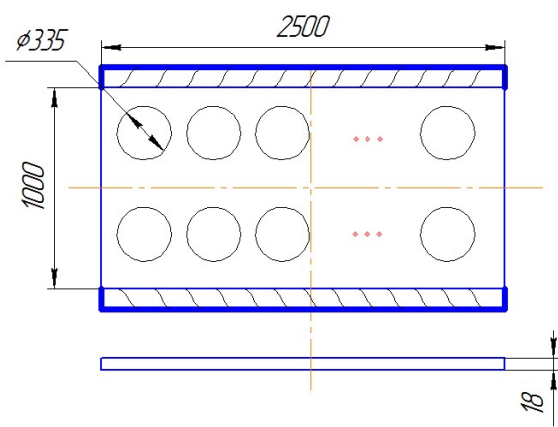
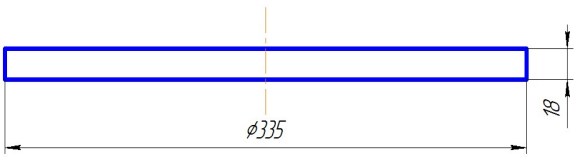
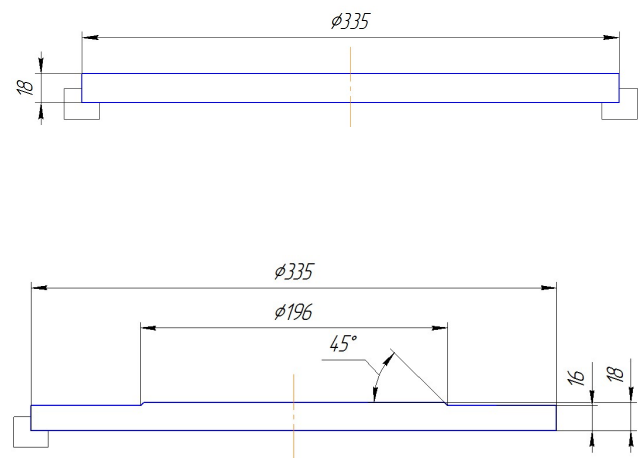
Рассмотрим технологию изготовления штуцера для сосуда, работающего под давлением. В данном случае, штуцер представляет собой сборочную единицу, которая состоит из следующих деталей:

- заглушка;
- патрубок;
- фланец.

Для продолжительного функционирования штуцера необходимо, чтобы работающие детали долго не изнашивались, для этого нужно соблюдать технологию изготовления деталей. В таблице 3 представлена технология изготовления заглушки для штуцера котла-утилизатора.

Таблица 3 - Технология изготовления заглушки

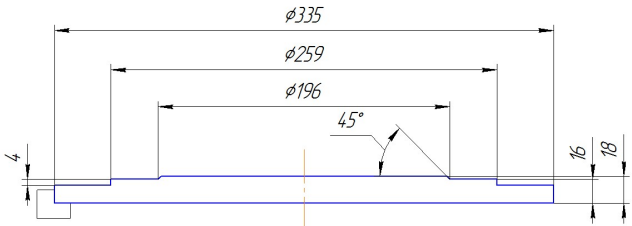
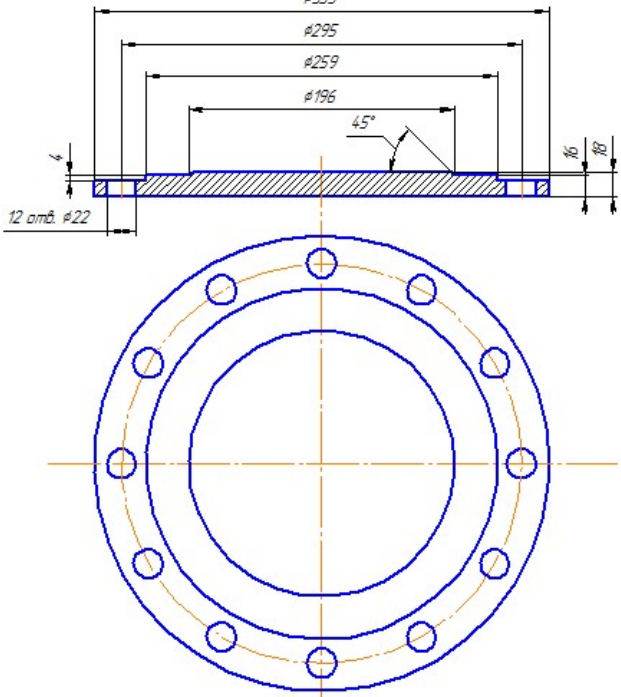
Наименование операции	Оборудование	Примечание
-----------------------	--------------	------------

<p>Операция 005</p> <p>Резка</p> <p>1 Установка и закрепление заготовки (листа);</p> <p>2 Резать круг <math>\varnothing 335</math> мм.</p>	<p>Плазменный станок с ЧПУ</p> <p>Старт 2А 15-30 (Плазма-Газ) с двумя резаками</p>	<p>Размеры листа 2500x1000x18</p> <p>(согласно ГОСТ 19903-74), материал: сталь 09Г2С</p> 
<p>Операция 010</p> <p>Зачистка</p> <p>1 Обрезать заусенцы и прочие следы резки.</p>	<p>Пневматическое зубило или шлифовальные круги</p>	
<p>Операция 015</p> <p>Токарная обработка</p> <p>1 Установить и закрепить заготовку;</p> <p>2 Точить торцевую поверхность</p>	<p>Токарный станок с ЧПУ</p> <p>ТС-35</p>	

Окончание таблицы 3

Наименование операции	Оборудование	Примечание
-----------------------	--------------	------------



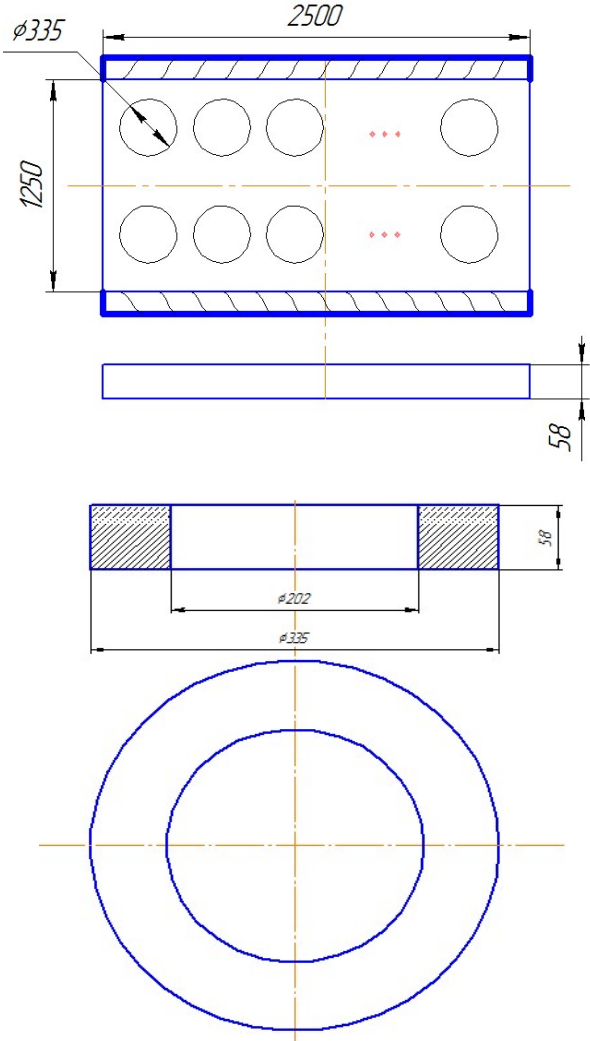
<p>3 Точить торцевую поверхность, обеспечить <math>\varnothing 259</math> мм, <math>t = 4</math> мм.</p>		
<p>Операция 020 Сверление</p> <p>1 Сверлить 12 отверстий <math>\varnothing 22</math>, выдерживать размер 295 мм, с углом <math>45^\circ</math></p>	<p>Станок вертикально - сверлильный 2С132Л</p>	

Составной деталью штуцера, играющей немаловажную роль в соединении технологических узлов оборудования, является фланец.

Технология изготовления фланца поможет проанализировать затраты материалов, средств и времени на его изготовление. Поэтому необходимо описать технологию его изготовления. Данная технология описана в таблице 4.

Таблица 4 - Технология изготовления фланца

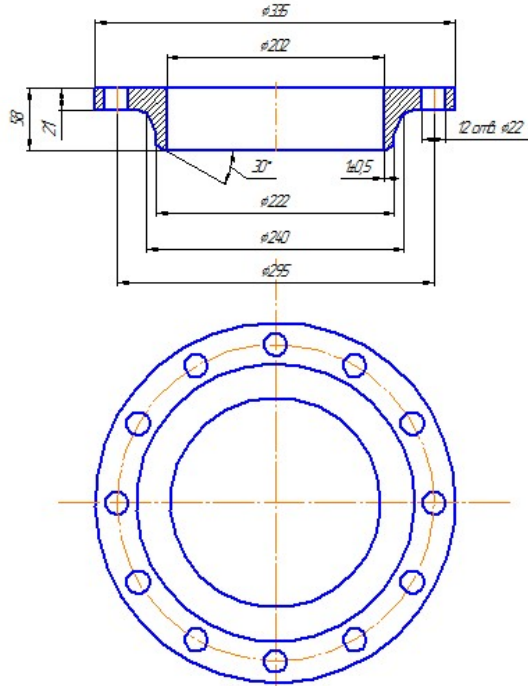
Наименование операции	Оборудование	Примечание
--------------------------	--------------	------------

<p>Операция 005</p> <p>Резка</p> <p>1 Установить и закрепить заготовку;</p> <p>2 Резать круг <math>\varnothing</math> 335 мм.</p> <p>3 Из заготовки <math>\varnothing</math> 335 мм, резать круг <math>\varnothing</math> 202 мм.</p>	<p>Плазменный станок с ЧПУ</p> <p>Старт 2А 15-30 (Плазма-Газ) с двумя резаками</p>	<p>Размеры листа 2500x1250x58 (согласно ГОСТ 19903-74), материал: сталь 09Г2С</p>  <p>The technical drawing illustrates the dimensions and layout of the steel plate. The top view shows a rectangular plate with dimensions 2500 mm by 1250 mm and a thickness of 58 mm. It features a grid of circles with diameters 335 mm and 202 mm. The side view shows the thickness of 58 mm. The bottom view shows the concentric circles.</p>
---	--	--

Продолжение таблицы 4

Наименование операции	Оборудование	Примечание
<p>Операция 010</p> <p>Зачистка</p> <p>1 Обрезать заусенцы и прочие следы резки.</p>	<p>Пневматическое зубило или шлифовальные круги</p>	
<p>Операция 015</p> <p>Токарная обработка</p> <p>1 Установить и закрепить заготовку;</p> <p>2 Точить торцевую поверхность, обеспечить <math>\varnothing 240</math> мм, <math>t = 37</math>;</p> <p>3 Точить торцевую поверхность, обеспечить <math>\varnothing 222</math> мм, <math>t = 37</math> мм, угол <math>30^\circ</math>;</p>	<p>Токарный станок с ЧПУ ТС-35</p>	

#### Окончание таблицы 4

Наименование операции	Оборудование	Примечание
<p>Операция 020</p> <p>Сверление</p> <p>1 Сверлить 12 отверстий <math>\varnothing 22</math>, выдерживать размер 295 мм, с углом <math>45^\circ</math></p>	<p>Станок вертикально - сверлильный 2С132Л</p>	

Требуемая точность изготовления деталей зависит от правильного конструирования механизмов машин и приборов. Поэтому правильный выбор параметров для изготовления и режимов обработки деталей обеспечивает максимальную долговечность их работы в период эксплуатации.

## 2.2 Разработка принципиальной технологической схемы установки для индукционной пайки

Как уже известно, принципиальная технологическая схема наподобие географической карты, соединяющей линиями города и села, является схемой, которая позволяет наглядно увидеть и понять как же взаимодействуют между собой резисторы, конденсаторы, транзисторы и многие другие составные части установок и механизмов, связи которых обозначаются линиями.

Принципиальные схемы выполняют две основные функции:

- показывают, как воспроизвести схему. Читая символы и следуя их взаимным соединениям, по принципиальной схеме можно воссоздать целое устройство;
- дают общую информацию о принципах функционирования и составе схемы, что, безусловно, помогает понять принципы работы устройства. Эти данные в высшей степени полезны при ремонте или доработке устройства.

В рамках проводимого исследования необходимо разработать принципиальную технологическую схему установки для индукционной пайки, которая позволит отобразить ее основные части и их взаимодействие друг с другом.

Мы знаем, что элементом установки для индукционной пайки, выполняющим непосредственно нагрев спаиваемого участка является индуктор. Так как энергия ниоткуда не берется и никуда не исчезает бесследно необходим источник питания. В качестве источника питания могут использоваться:

- сеть промышленной частоты 50 Гц;
- машинные преобразователи частоты, от которых получается ток частотой от 500 до 8000 Гц;
- ламповые генераторы – источники тока частотой от 70 кГц до нескольких мегагерц;

Наибольшее распространение в промышленности получили установки с питанием от машинных преобразователей частоты.

Управление режимом нагрева осуществляется с помощью электромашинного или магнитного усилителя. Включение и выключение нагрева контактором применяется при параллельном питании от одного генератора нескольких нагревательных устройств.

При индивидуальном питании нагревательного устройства нагрев может включаться и отключаться как контактором, так и включением и отключением возбуждения генератора.

Для наблюдения за режимом работы устройства служит комплект измерительных приборов с трансформаторами тока и напряжения.

Для регулирования напряжения, подводимого к индуктору, и, следовательно, мощности, передаваемой в нагреваемые заготовки, служит высокочастотный автотрансформатор. Автотрансформатор устанавливается в случае централизованного питания. При индивидуальном питании единичного нагревательного устройства напряжения, подводимое к индуктору, изменяется регулированием тока возбуждения генератора. Размеры и форма индуктора определяются размерами и формой заготовки, а также требуемой производительностью устройства.

В качестве датчика для системы автоматического управления нагревом, применяется фотопирометр с усилителем.

Нагреваемые заготовки подаются в индуктор и выдаются из него для последующей обработки с помощью специального механизма.

Первые четыре элемента схемы располагаются обычно в отдельном помещении – генераторной станции. Остальные в зависимости от принятого способа компоновки собираются в одном или нескольких корпусах, устанавливаются в цеху и образуют собственно тот агрегат, который принято называть «индукционным нагревателем».

Питание нагревателей осуществляется как по индивидуальной схеме, когда один нагреватель соединен с одним или несколькими параллельно работающими преобразователями частоты, так и по централизованной схеме, когда несколько нагревателей связаны с центральной генераторной станцией.

Схемы индивидуального питания используются при установке в цехе одного нагревателя и в случаях установки нескольких нагревателей, если потребляемая каждым нагревателем мощность в процессе работы изменяется незначительно. При установке в цехе большого количества нагревателей со

значительно изменяющейся потребляемой мощностью должны применяться схемы централизованного питания.

В этом случае генераторы могут быть использованы лучше. При уменьшении мощности, потребляемой несколькими нагревателями, часть генераторов может быть остановлена. Так как обычно все нагреватели не работают одновременно с максимальной нагрузкой, общая установленная мощность генераторов может быть при централизованном питании меньше.

При индивидуальном питании режим нагрева определяется напряжением на генераторе, которое поддерживается на установленном уровне с помощью автоматического регулятора с электромашинным или магнитным усилителем. При централизованном питании напряжение на сборных шинах, к которым параллельно присоединены все генераторы, автоматически поддерживается равным номинальному напряжению генераторов.

Напряжение на каждом отдельном нагревателе, а следовательно и режим его работы, устанавливается с помощью автотрансформатора.

Существуют две схемы передачи энергии от сборных шин к нагревателям при централизованном питании:

1. В цехе прокладывается один или два фидера, соединенных со сборными шинами. К фидерам параллельно подключаются нагреватели;
2. К каждому из нагревателя от сборных шин прокладывается отдельный фидер.

Недостатком первого способа канализации энергии является взаимное влияние нагревателей друг на друга в процессе работы. Стабильность температуры нагреваемых заготовок в этом случае может обеспечивать только применение фотопирометра, однако при этом перепад температуры между поверхностью и сердцевиной заготовки может отклониться от заданного. Может также измениться производительность нагревателя.

Второй способ канализации энергии свободен от этих недостатков, но связан с прокладкой большого числа линий, а следовательно, с большими капитальными затратами. Несмотря на это, предпочтение нужно отдавать

второму способу. Постоянство температуры заготовок в этом случае может быть обеспечено как с помощью фотопирометра, так и с помощью реле времени [19].

Таким образом, учтя все вышесказанное, разработаем принципиальную технологическую схему установки для индукционной пайки, схема которой изображена на рис. 17.

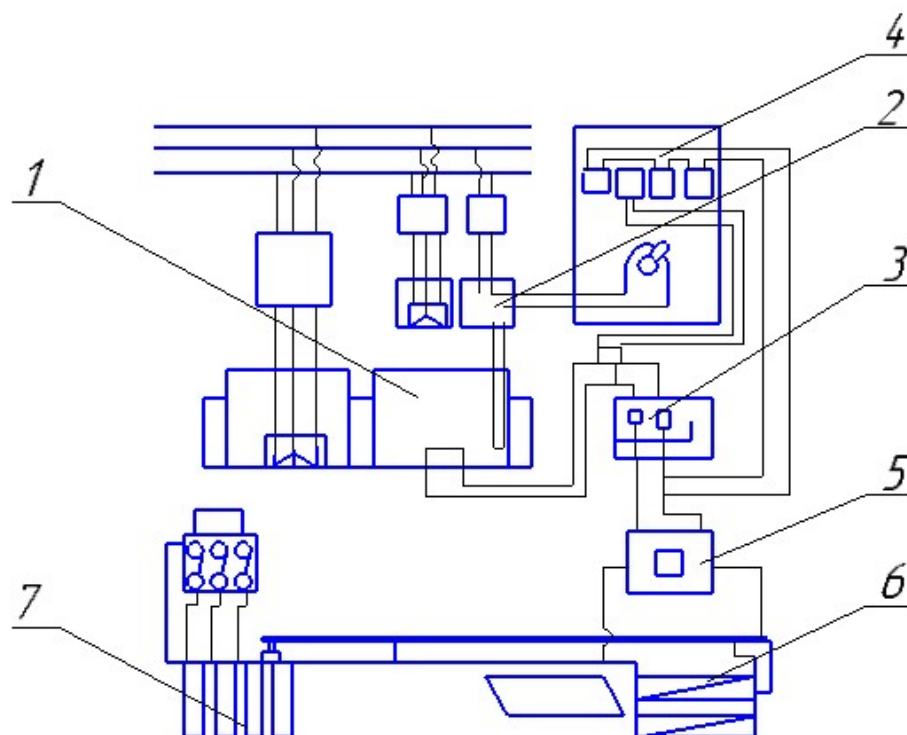


Рисунок 17 – Принципиальная электрическая схема индукционного нагревательного устройства

На данной схеме изображены следующие элементы, составляющие индукционное нагревательное устройство: 1 – транзисторный генератор тока высокой частоты; 2 – электромашинный усилитель, управляющий режимом нагрева; 3 – контактор для включения и выключения нагрева; 4 – шкаф с измерительными приборами и аппаратурой управления работой электромашинного усилителя 2; 5 – высокочастотный трансформатор для регулирования напряжений на индукторе; 6 – индуктор; 7 – батарея конденсаторов.



## 2.3 Расчет основных параметров индуктора для пайки фланцев штуцеров

Масса нагреваемого объема металла, кг:

$$G=0,45 \cdot m \quad (1)$$

где  $m$  – масса штуцера из АТК 24.218.06-90.

Минимальная и максимальная частоты индуктора  $f$  (интервал частот) рассчитываются по формуле, Гц:

$$\frac{3 \cdot 10^6 \cdot \rho}{\mu \cdot D_2^2} < f < \frac{6 \cdot 10^6 \cdot \rho}{\mu \cdot D_2^2}, \quad (2)$$

где  $\rho = 2 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}$  – удельное электрическое сопротивление медного индуктора;  $D_2$  – диаметр изделия, м;

$\mu = 1$  – относительная проницаемость металла, о.е.

В данной работе по рассчитанному диапазону частот будем выбирать источники питания из следующего ряда стандартных частот  $f$ : 500, 1000, 2500, 4000, 8000 Гц.

Глубина проникновения волны в материал индуктора рассчитывается по выражению, мм:

$$\Delta = 503 \cdot \sqrt{\frac{\rho}{\mu \cdot f}}. \quad (3)$$

где  $f$  – частота выбранного источника питания.

Полезная мощность, идущая на нагрев заготовки, кВт:

$$P_{\text{пол}} = \frac{C \cdot G \cdot (t_{\text{к}} - t_{\text{н}})}{\tau_{\text{н}}}, \quad (4)$$

где  $c$  – удельная теплоемкость материала детали при температуре плавления припоя, кДж/кг·°С;

$G$  - масса загрузки;

$t_k, t_n$  - соответственно конечная и начальная температура металла, где  $t_k$  соответствует температуре плавления припоя,  $t_n$  соответствует температуре окружающей среды ( $t_n = 20^\circ\text{C}$ )

$\tau_n$  - время нагрева, с.

Мощность тепловых потерь рассчитывается на основе закона Фурье как мощность передаваемая теплопроводностью от внутренней поверхности к наружной (соприкасающейся с индуктором) через однослойную цилиндрическую футеровку, кВт:

$$\Delta P_{\text{пт}} = \frac{(t_1 - t_2) \cdot \mu}{z_T} \quad (5)$$

где  $t_1, t_2$  - соответственно, внутренняя и наружная температуры тепловой изоляции (футеровки); для расчетов принимают  $t_1 = t_k$  (конечная температура нагретой заготовки),  $t_2 = t_g = 50^\circ\text{C}$  (температура охлаждающей воды на выходе из индуктора);

$z_T$  - тепловое сопротивление футеровки:

$$z_T = \frac{\left( \ln \frac{D_1}{D_3} \right)}{2 \cdot \pi \cdot \lambda} \quad (6)$$

$\lambda = 0,7 + 0,64 \cdot 10^{-3} \cdot t_{cp}$  - коэффициент теплопроводности шамота, в упрощенных расчетах принимают  $t_{cp} = t_k$ ;

$$D_3 = D_2 + 0,01, \text{ (м)}$$

$$D_1 = D_2 - 0,01, \text{ (м)}$$

где  $D_1, D_3$  - соответственно, наружный и внутренний диаметр тепловой изоляции;

Внутренний диаметр индуктора, м:

$$D_4 = D_2 + 2 \cdot h \quad (7)$$

где  $h$  – воздушный зазор между индуктором и нагреваемой деталью. Обычно выбирается в пределах 2-5 мм, если  $D_2 \leq 50$  мм, и 5-10 мм, если  $D_2 > 50$  мм.

Потребная мощность в загрузке, кВт:

$$P_2 = 1,05 \cdot (P_{пол} + \Delta P_{тп}) \quad (8)$$

где 1,05 – коэффициент, учитывающий потери в металлических направляющих, по которым перемещается деталь;

$P_{пол}$  - полезная мощность, мощность идущая на нагрев детали;

$P_{тп}$  - мощность тепловых потерь [20].

Произведем расчет индуктора, исходя из данных на штуцера первого типа и первого исполнения на условное давление  $P_y = 0,6$  МПа (6 кгс/см<sup>2</sup>) по АТК 24.218.06-90 «штуцера для сосудов и аппаратов стальных сварных» [21]. Для расчета будем использовать широко распространенный материал для штуцеров 12Х18Н10Т и соответственно подходящий к нему припой ПСр45, температура плавления которого колеблется от 665 до 730 °С.

Расчет начнем с минимального значения  $D_y = 25$  мм.

Массу нагреваемого объема металла рассчитываем по формуле (1):

$$G = 0,45 \cdot m = 0,45 \cdot 1,1 = 0,495 \text{ кг}$$

Расчетную частоту рассчитываем по формуле (2):

$$\frac{3 \cdot 10^6 \cdot 2 \cdot 10^{-8}}{1 \cdot 0,032^2} < f < \frac{6 \cdot 10^6 \cdot 2 \cdot 10^{-8}}{1 \cdot 0,032^2};$$
$$600 < f < 1200 \text{ Гц}.$$

Выбираем частоту  $f = 2500$  Гц. Данной частоты нам будет достаточно для осуществления процесса индукционной пайки данного объема металла.

Глубину проникновения волны в материал индуктора рассчитываем по формуле (3):

$$\Delta = 503 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 10^{-8}}{1 \cdot 2500}} = 0,001423 \text{ м} = 1,423 \text{ мм}.$$

Полезную мощность рассчитываем по формуле (4):

$$P_{пол} = \frac{575 \cdot 0,495 \cdot (730 - 20)}{120} = 1684 \text{ Вт} = 1,684 \text{ кВт}.$$

Мощность тепловых потерь рассчитываем по формуле (5):

$$\Delta P_{mn} = \frac{(730 - 50) \cdot 1}{0,088} = 7,727 \text{ кВт},$$

где  $z_T$  – тепловое сопротивление футеровки, рассчитываемое по формуле (6):

$$z_T = \frac{\ln\left(\frac{0,022}{0,042}\right)}{2 \cdot \pi \cdot 1,167} = 0,088,$$

где  $D_3 = D_2 + 0,01 \text{ м} = 0,032 + 0,01 = 0,042 \text{ м}$ ;

$D_1 = D_2 - 0,01 \text{ м} = 0,032 - 0,01 = 0,022 \text{ м}$ ;

$$\lambda = 0,7 + 0,64 \cdot 10^{-3} \cdot 730 = 1,167 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot ^\circ\text{C}}.$$

Внутренний диаметр индуктора рассчитываем по формуле (7):

$$D_4 = 0,032 + 2 \cdot 0,005 = 0,042 \text{ м}.$$

Мощность, которую необходимо передать электромагнитным путем, от индуктора в заготовку (деталь) рассчитываем по формуле (8):

$$P_2 = 1,05 \cdot (1,684 + 7,727) = 9,882 \text{ кВт}.$$

Сведем все исходные и полученные данные, конфигурирующие в расчетах в таблицу 5.

Таблица 5 - Исходные и рассчитанные данные

Наименование	Величина
1.Спаиваемый металл	12X18H10T
2.Конечная температура нагрева, $^\circ\text{C}$	730
3.Диаметр детали, $D_2$ , мм	32
4.Внутренний диаметр индуктора, $D_4$ , мм	42
5.Время нагрева, с	120
6.Масса нагреваемого объема металла, кг	0,495
7.Рассчитанная частота, Гц	$600 < f < 1200$

8.Выбранная частота, Гц	2500
-------------------------	------

Окончание таблицы 5

Наименование	Величина
9.Глубина проникновения волны в материал индуктора, мм	1,423
10.Мощность полезная, кВт	1,684
11.Мощность тепловых потерь, кВт	7,727
12.Потребная мощность в загрузке, кВт	9,882

Для того чтобы выяснить до какого условного проходного диаметра штуцеров можно осуществлять индукционную пайку фланцев, необходимо найти тот условный диаметр, при котором расчеты покажут не возможность осуществления данного метода пайки. Для этого необходимо производить повтор расчетов, пока расчетная частота и потребляемая мощность не будут превышать данных значений у существующих аппаратов, способных воспроизвести величину расчетных значений. В настоящее время существуют установки с максимальной установленной мощностью до 1600 кВт и преобразованием частоты источника питания до 10кГц.

В данной работе критическими величинами будем считать частоту 8000 Гц и мощность 800 кВт.

Произведем расчет электрических параметров индуктора при  $D_y = 500$  мм  $D_2 = 530$  мм.

Так как диаметр нагреваемой детали увеличился, необходимо произвести повторные расчеты по формулам (1) – (8).

Массу нагреваемого объема металла рассчитываем по формуле (1):

$$G = 0,45 \cdot m = 0,45 \cdot 60,5 = 27,23 \text{ кг}$$

Расчетную частоту рассчитываем по формуле (2):

$$\frac{3 \cdot 10^6 \cdot 2 \cdot 10^{-8}}{1 \cdot 0,53^2} < f < \frac{6 \cdot 10^6 \cdot 2 \cdot 10^{-8}}{1 \cdot 0,53^2};$$

$$210 < f < 420 \text{ Гц.}$$

Выбранное ранее стандартное значение частоты  $f = 2500$  Гц удовлетворяет данным расчетам.

Глубину проникновения волны в материал индуктора рассчитываем по формуле (3):

$$\Delta = 503 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 10^{-8}}{1 \cdot 2500}} = 0,001423 \text{ м} = 1,423 \text{ мм}.$$

Полезную мощность рассчитываем по формуле (4):

$$P_{\text{пол}} = \frac{575 \cdot 27,23 \cdot (730 - 20)}{120} = 92638,73 \text{ Вт} = 92,638 \text{ кВт}.$$

Мощность тепловых потерь рассчитываем по формуле (5):

$$\Delta P_{\text{mn}} = \frac{(730 - 50) \cdot 1}{0,005} = 136 \text{ кВт},$$

где  $z_T$  – тепловое сопротивление футеровки рассчитываем по формуле (6):

$$z_T = \frac{\ln\left(\frac{0,52}{0,54}\right)}{2 \cdot \pi \cdot 1,167} = 0,005,$$

где  $D_3 = D_2 + 0,01 \text{ м} = 0,53 + 0,01 = 0,54 \text{ м}$ ;

$D_1 = D_2 - 0,01 \text{ м} = 0,53 - 0,01 = 0,52 \text{ м}$ ;

$$\lambda = 0,7 + 0,64 \cdot 10^{-3} \cdot 730 = 1,167 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot ^\circ\text{C}}.$$

Внутренний диаметр индуктора рассчитываем по формуле (7):

$$D_4 = 0,53 + 2 \cdot 0,01 = 0,55 \text{ м}$$

Мощность, которую необходимо передать электромагнитным путем, от индуктора в заготовку (деталь) рассчитываем по формуле (8):

$$P_2 = 1,05 \cdot (92,638 + 136) = 240,07 \text{ кВт}.$$

Сведем все исходные и полученные данные, конфигурирующие в расчетах в таблицу 6.

Таблица 6 - Исходные и рассчитанные данные

Наименование	Величина
1.Спаиваемый металл	12X18H10T
2.Конечная температура нагрева, °C	730
3.Диаметр детали, $D_2$ , мм	530
4.Внутренний диаметр индуктора, $D_4$ , мм	550
5.Время нагрева, с	120
6.Масса нагреваемого объема металла, кг	27,23
7.Рассчитанная частота, Гц	$210 < f < 420$
8.Выбранная частота, Гц	2500
9.Глубина проникновения волны в материал индуктора, мм	1,423
10.Мощность полезная, кВт	92,638
11.Мощность тепловых потерь, кВт	136
12.Потребная мощность в загрузке, кВт	240,07

В результате выполнения расчета основных электрических параметров индукторов можно сделать вывод о том, что все значения условных диаметров  $D_y$  штуцеров первого типа и первого исполнения на условное давление  $P_y = 0,6$  МПа ( $6 \text{ кгс/см}^2$ ) по АТК 24.218.06-90 «штуцера для сосудов и аппаратов стальных сварных» удовлетворяют требуемым условиям возможности осуществления пайки методом индукционного нагрева.

Примем следующие характеристики для установки индукционной пайки фланцев штуцеров: установленная мощность 300 кВт, источник питания 380В с частотой 50 Гц, частота преобразователя источника питания 2500 Гц.

## 2.4 Проектирование набора индукторов

По результатам расчетов электрических параметров индукторов для пайки фланцев штуцеров сосудов и аппаратов, работающих под условным давлением  $P_y = 0,6$  МПа мы определили необходимые параметры установки для

индукционной пайки, теперь необходимо приступить к проектированию индукторов.

Спроектируем набор из трех индукторов для пайки фланцев штуцеров на следующие размеры  $D_y$  по АТК 24.218.06-90:  $D_{y1}=40$  мм;  $D_{y2}=50$  мм и  $D_{y3}=80$  мм. Индукторы будем изготавливать из полых медных трубок по ГОСТ 617-90.

Рассчитаем внутренний диаметр индукторов, м:

$$D_4 = D_2 + 2 \cdot h$$

$h$  – воздушный зазор между индуктором и нагреваемой деталью. Обычно выбирается в пределах 2-5 мм, если  $D_2 \leq 50$  мм, и 5-10 мм, если  $D_2 > 50$  мм.

Для  $D_{y1}$ :  $D_4 = 45 + 2 \cdot 5 = 55$  мм;

Для  $D_{y2}$ :  $D_4 = 57 + 2 \cdot 7 = 71$  мм;

Для  $D_{y3}$ :  $D_4 = 89 + 2 \cdot 8 = 105$  мм;

Величину наружного диаметра и внутренней полости индуктора, предназначенного для его охлаждения водой будем выбирать в зависимости от наружного диаметра трубки и от толщины ее стенки по ГОСТ 617-90.

- для  $D_{y1}$ :
- наружный диаметр трубки примем 10 мм;
- толщина стенки 1,5 мм;
- внутренний диаметр 7 мм.
- для  $D_{y2}$ :
- наружный диаметр трубки примем 12 мм;
- толщина стенки 1,5 мм;
- внутренний диаметр 9 мм.
- для  $D_{y3}$ :
- наружный диаметр трубки примем 15 мм;
- толщина стенки 2 мм;
- внутренний диаметр 11 мм [22].

Спроектированные индукторы представлены на чертежах формата А3 в приложении А.



Произведем расчет электрических параметров спроектированных индукторов.

Рассчитаем массу нагреваемого объема металла:

- для  $D_{y1}$ :  $G = 0,45 \cdot m = 0,45 \cdot 2 = 0,9 \text{ кг};$
- для  $D_{y2}$ :  $G = 0,45 \cdot m = 0,45 \cdot 2,4 = 1,08 \text{ кг};$
- для  $D_{y3}$ :  $G = 0,45 \cdot m = 0,45 \cdot 4,6 = 2,07 \text{ кг}.$

Рассчитаем расчетную частоту:

$$\text{- для } D_{y1}: \quad \frac{3 \cdot 10^6 \cdot 2 \cdot 10^{-8}}{1 \cdot 0,045^2} < f < \frac{6 \cdot 10^6 \cdot 2 \cdot 10^{-8}}{1 \cdot 0,045^2};$$

$$490 < f < 980 \text{ Гц};$$

$$\text{- для } D_{y2}: \quad \frac{3 \cdot 10^6 \cdot 2 \cdot 10^{-8}}{1 \cdot 0,057^2} < f < \frac{6 \cdot 10^6 \cdot 2 \cdot 10^{-8}}{1 \cdot 0,057^2};$$

$$450 < f < 900 \text{ Гц};$$

$$\text{- для } D_{y3}: \quad \frac{3 \cdot 10^6 \cdot 2 \cdot 10^{-8}}{1 \cdot 0,089^2} < f < \frac{6 \cdot 10^6 \cdot 2 \cdot 10^{-8}}{1 \cdot 0,089^2};$$

$$425 < f < 850 \text{ Гц}.$$

Выбранное ранее стандартное значение частоты  $f = 2500 \text{ Гц}$  удовлетворяет данным расчетам.

Глубина проникновения волны в материал индуктора:

- для  $D_{y1}$ ,  $D_{y2}$  и  $D_{y3}$ :

$$\Delta = 503 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 10^{-8}}{1 \cdot 2500}} = 0,001423 \text{ м} = 1,423 \text{ мм}.$$

Полезная мощность:

$$\text{- для } D_{y1}: \quad P_{\text{пол}} = \frac{575 \cdot 0,9 \cdot (730 - 20)}{120} = 3061,88 \text{ Вт} = 3,061 \text{ кВт};$$

$$\text{- для } D_{y2}: \quad P_{\text{пол}} = \frac{575 \cdot 1,08 \cdot (730 - 20)}{120} = 3674,25 \text{ Вт} = 3,674 \text{ кВт};$$

$$\text{- для } D_{y3}: \quad P_{\text{пол}} = \frac{575 \cdot 2,07 \cdot (730 - 20)}{120} = 7042,31 \text{ Вт} = 7,042 \text{ кВт}.$$

Мощность тепловых потерь:

$$\text{- для } D_{y1}: \quad \Delta P_{mn} = \frac{(730-50) \cdot 1}{0,062} = 10,97 \text{ кВт},$$

где  $z_T$  – тепловое сопротивление футеровки:

$$z_T = \frac{\ln\left(\frac{0,035}{0,055}\right)}{2 \cdot \pi \cdot 1,167} = 0,062,$$

$$\text{где } D_3 = D_2 + 0,01 \text{ м} = 0,045 + 0,01 = 0,055 \text{ м};$$

$$D_1 = D_2 - 0,01 \text{ м} = 0,045 - 0,01 = 0,035 \text{ м};$$

$$\lambda = 0,7 + 0,64 \cdot 10^{-3} \cdot 730 = 1,167 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot ^\circ\text{C}};$$

$$\text{- для } D_{y2}: \quad \Delta P_{mn} = \frac{(730-50) \cdot 1}{0,048} = 14,16 \text{ кВт},$$

где  $z_T$  – тепловое сопротивление футеровки:

$$z_T = \frac{\ln\left(\frac{0,047}{0,057}\right)}{2 \cdot \pi \cdot 1,167} = 0,048,$$

$$\text{где } D_3 = D_2 + 0,01 \text{ м} = 0,057 + 0,01 = 0,067 \text{ м};$$

$$D_1 = D_2 - 0,01 \text{ м} = 0,057 - 0,01 = 0,047 \text{ м};$$

$$\lambda = 0,7 + 0,64 \cdot 10^{-3} \cdot 730 = 1,167 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot ^\circ\text{C}};$$

$$\text{- для } D_{y3}: \quad \Delta P_{mn} = \frac{(730-50) \cdot 1}{0,031} = 21,94 \text{ кВт},$$

где  $z_T$  – тепловое сопротивление футеровки:

$$z_T = \frac{\ln\left(\frac{0,079}{0,099}\right)}{2 \cdot \pi \cdot 1,167} = 0,031,$$

$$\text{где } D_3 = D_2 + 0,01 \text{ м} = 0,089 + 0,01 = 0,099 \text{ м};$$

$$D_1 = D_2 - 0,01 \text{ м} = 0,089 - 0,01 = 0,079 \text{ м};$$

$$\lambda = 0,7 + 0,64 \cdot 10^{-3} \cdot 730 = 1,167 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot ^\circ\text{C}}.$$

Рассчитаем мощность, которую необходимо передать электромагнитным путем, от индуктора в заготовку (деталь):

- для  $D_{y1}$ :  $P_2 = 1,05 \cdot (3,06 + 10,97) = 14,73 \text{ кВт};$

- для  $D_{y2}$ :  $P_2 = 1,05 \cdot (3,67 + 14,16) = 18,72 \text{ кВт};$

- для  $D_{y3}$ :  $P_2 = 1,05 \cdot (7,04 + 21,94) = 30,43 \text{ кВт}.$

Сведем все исходные и полученные данные, конфигурирующие в расчетах в таблицу 7.

Таблица 7 - Рассчитанные данные

Наименование	$D_{y1}=40$	$D_{y2}=50$	$D_{y3}=80$
1.Спаиваемый металл	12X18H10T		
2.Конечная температура нагрева, °C	730		
3.Диаметр детали, $D_2$ , мм	45	57	89
4.Внутренний диаметр индуктора, $D_4$ , мм	55	71	105
5.Время нагрева, с	120		
6.Масса нагреваемого объема металла, кг	0,9	1,08	2,07
7.Рассчитанная частота, Гц	$490 < f < 980$	$450 < f < 900$	$425 < f < 850$
8.Выбранная частота, Гц	2500		
9.Глубина проникновения волны в материал индуктора, мм	1,423		
10.Мощность полезная, кВт	3,061	3,674	7,042
11.Мощность тепловых потерь, кВт	10,97	14,16	21,94
12.Потребная мощность в загрузке, кВт	14,73	18,72	30,43

## 2.5 Разработка конструкции установки для индукционной пайки

Одной из задач данной бакалаврской работы является разработка конструкции установки, позволяющей осуществлять пайку фланцев штуцеров

методом индукционного нагрева. Проведя предварительные расчеты индукторов, я сделал вывод, что данный метод пайки может быть осуществлен для данной области. Так же, исходя из расчетной потребляемой мощности индукторов и частоты я выбрал существующие характеристики оборудования, способные осуществлять данный метод в данной области.

Разрабатываемая установка состоит из источника переменного тока, генератора, промышленного компьютера, блока управления постом пайки, индуктора, пульта управления, пирометра, амперметра.

Принципиальная схема разрабатываемой установки представлена на рисунке 18.

В качестве источника переменного тока будем использовать промышленный источник напряжением 380 В и частотой 50 Гц.

В настоящее время существуют высокочастотные транзисторные генераторы, предназначенные для индукционного нагрева и включающие в себя функции подачи охлаждающей жидкости, программируемый режим работы, контроль регулирования температуры нагрева, контроль протока охлаждающей воды, и имеющие операторскую панель с сенсорным экраном.

Система управления ТГИ (транзисторным генератором индукционным) управляет транзисторами инвертора, контролирует параметры режима работы транзистором и системы охлаждения, выполняет защиту от недопустимых режимов, обеспечивает человеко-машинный интерфейс с внешними устройствами управления.

Транзисторный индукционный генератор тока высокой частоты выберем индукционный генератор ТВЧ типа ТГИ-12/66, произведенный компанией «ИНТЕРМ», и имеющим следующие характеристики:

- мощность 12 кВт;
- номинальная частота 66 кГц;
- частотный диапазон 40-100 кГц;
- выходное напряжение 225 В;
- выходной ток 60А.

Стенд управления предназначен для настройки и автоматического регулирования технологических параметров поста индукционного нагрева в процессе пайки. Программное обеспечение Стенда позволяет производить запись, корректировку и воспроизведение основных технологических параметров процесса пайки.

Пирометр является прибором для бесконтактного измерения температуры тел, принцип действия которого основан на измерении мощности теплового излучения объекта.

Система регулирования обеспечивает повторяемость технологических процессов и устойчивость нагрева в условиях нестационарной индукционной нагрузки. Для этого используется частотная автоподстройка с автоматическим выбором стабилизируемого параметра (мощность, выходной ток, температура) и автоматическое удержание возле резонанса при снижении частоты.

Программно или вручную задаются требуемые значения установок (мощности, тока, температуры) или программируются законом измерения одной из уставок во времени (таймерный режим).

Защита от перегрузки оборудования состоит из быстрых блокировок по току, жесткой коммутации и напряжению и блокировок по перегреву или недостаточному охлаждению (в том числе внешним датчиками температуры и расхода воды).

Автоматическое логгирование параметром работы и событий (блокировок) на съемный USB – Flash накопитель облегчает отладку технологических процессов и поставочную диагностику.

Для удобства оперативного управления генератор может быть укомплектован педалью (включение/выключение нагрева) или кнопочным пультом вариатором уставки.

Для управления нагревом в автоматизированной технологической установке генератор имеет разъем аналогово-дискретного управления и разъем последовательного интерфейса [23].

Разработка конструкции установки для индукционной пайки будет осуществляться по существующим установкам, производимых компанией «Петра».

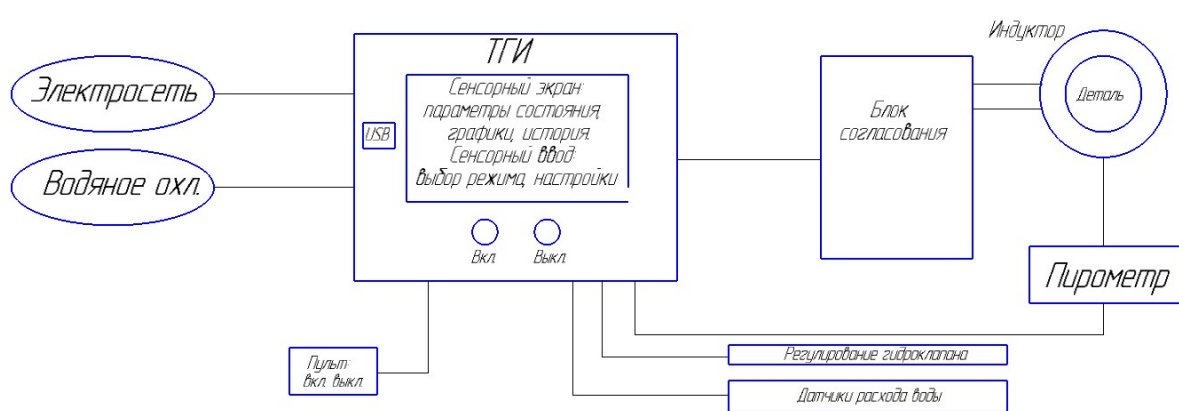


Рисунок 18 – Принципиальная схема установки для индукционной пайки

Общий вид установки представлен на чертеже в приложении А.

## 2.6 Выбор и обоснование вспомогательных материалов

К вспомогательным материалам относятся припой, флюсы, так же сюда можно отнести выбор пирометра, который позволит контролировать температуру в зоне нагрева, и средства обеспечения безопасности.

Припой - это металл или сплав, применяемый при пайки для соединения заготовок, и имеющий температуру плавления ниже чем соединяемые металлы.

Для пайки фланцев штуцеров, изготавливаемых из металла марки 12X18Н10Т на основе опытных данных целесообразно использовать припой марки ПСр45, температура плавления которого колеблется от 665 до 730 °С [24].

При пайке помимо припоев так же применяются флюсы, предназначенные для защиты места спая от окисления при нагреве детали, обеспечения лучшей смачиваемости места спая расплавленным металлом и растворения металлических окислов. Температура плавления флюса должна быть ниже температуры плавления припоя. Флюсы могут быть твердые,

пастообразные и жидкие. Пайку точных соединений производят без флюсов в защитной атмосфере или в вакууме.

При пайке припоем ПСр-45, имеющим более низкую температуру плавления, чем бура, может произойти зашлакование флюса. Поэтому, в результате многочисленных опытов в настоящее время разработан и применяется флюс в виде жидкой пасты, замешенной на воде или спирте, который имеет следующий состав:

- буры – 50%;
- борной кислоты – 35%;
- фтористого калия – 15% [25].

## **2.7 Техника безопасности при работе с индукционными установками**

При индукционной пайке следует руководствоваться правилами безопасности при эксплуатации электротермических установок повышенной и высокой частоты. Персонал, обслуживающий высокочастотные установки, обязан пройти курс техминимума по их эксплуатации, технике безопасности, правилам противопожарной безопасности на электроустановках, по оказанию первой помощи пострадавшим и иметь удостоверение на право выполнения работ.

Работающие на высокочастотных установках обязаны производить наладку установок и все необходимые переключения для настройки режима только в присутствии мастера или наладчика, имеющего необходимую квалификацию и соответствующее на это разрешение. Высокочастотные установки, предназначенные для пайки, должны быть размещены в отдельном помещении и обеспечены ограждениями, механической или электрической блокировкой. Все металлические части в установках с машинными или ламповыми генераторами и вторичный виток нагревательного контура должны быть заземлены. При индукционной пайке для защиты от действия токов высокой частоты (ТВЧ) необходимо устанавливать специальные экраны.

Категорически запрещается проведение ремонтных работ в установке, находящейся под напряжением. По окончании работы необходимо отключить генератор высокой частоты со стороны питающего фидера (провода прямоугольного сечения). Воспрещается приступать к работе на установке при неисправном электрооборудовании (индукторе, высоковольтном трансформаторе, реле управления и т.п.), при неисправных или отключенных блокировках, а также при неисправных ограждениях, обшивочных листах и кожухах, обеспечивающих безопасность работы.

Во время работы высокочастотной установки воспрещается прикасаться к индуктору или вторичному витку высоковольтного трансформатора, так как это может вызвать ожог. Пол рабочего места покрывается резиновыми ковриками. При обнаружении неисправностей, пожаре и стихийных бедствиях паяльщик обязан немедленно отключить генератор.

Помещение, где проводятся работы по пайке, должно быть оборудовано приточно-вытяжной вентиляцией. Если продукты разложения флюсов (например, Ф 100) токсичны, пайку следует проводить в условиях вытяжной вентиляции, расположенной непосредственно у индуктора установки ТВЧ [26].



### **3 Технология применения и ремонт установки для индукционной пайки**

#### **3.1 Принцип работы установок для индукционной пайки**

Все установки для индукционной пайки работают благодаря физическим процессам, протекающих за счет уникальных свойств электричества, одним из которых является индукционный нагрев.

Индукционный нагрев – это нагревание материалов электрическими токами, которые индуцируются переменным магнитным полем. Индукционный нагрев нашел широкое применение в промышленности, в частности, применяется в следующих ее областях:

- закалка поверхности деталей из стали при 850-930 °С;
- мягкий отжиг при 750 – 950 °С;
- нормализация после холодной формовки при 750-950 °С;
- пайка деталей и узлов твердыми припоями до 1100 °С.

Индукционная пайка производится с нагревом паяемого участка в катушке-индукторе. Через индуктор пропускается ток высокой частоты, в результате место пайки нагревается до необходимой температуры. Предохранение изделия от окисления достигается за счет ведения процесса нагрева в вакууме или в защитной среде и применения флюсов. Индуктор имеет вид петли или спирали из красной меди. Формы и размеры индуктора зависят от конструкции паяемого изделия.

В зависимости от конструкции паяемых изделий нагрев осуществляют или непосредственно от индуктора (прямой нагрев), или за счет теплоотдачи от графитового или стального вкладыша, нагреваемого ТВЧ (косвенный нагрев).

Применение ТВЧ позволяет очень быстро нагреть деталь до температуры плавления припоя при наименьшем его окислении и короблении изделия и дает возможность непосредственно вести наблюдение за ходом всего процесса пайки.

Большое значение при пайке имеет расстояние между индуктором и изделием. Его выбирают в пределах 2-20 мм в зависимости от размера и конфигурации детали и толщины ее стенок. Для пайки тонкостенных деталей берут меньший зазор, для толстостенных и массивных - больший. Во избежание перегрева изделия расстояние между индуктором и деталью около углов делают больше, чем с основной поверхностью детали, а в местах с большим теплоотводом его, наоборот, сокращают.

Простейший способ пайки, когда подготовленные детали вручную, по 1 шт. подают в индуктор, включая и выключая ток с помощью ручного или ножного выключателя, малопроизводителен, а качество пайки при этом во многом зависит от квалификации рабочего. Более качественную пайку при ручной подаче детали в индуктор получают при ручном вклячении и автоматическом выключении тока. Время нагрева при этом способе обычно составляет несколько секунд, его подбирают опытным путем.

Для лучшего использования генератора и увеличения производительности применяют непрерывную подачу паяемых деталей в многоместный индуктор (без включения индуктора). Детали подаются в индуктор одна за другой и по мере расплавления припоя и заполнения им зазора удаляются из индуктора и заменяются новыми. Этот вид пайки широко применяют при изготовлении режущего инструмента.

Для предотвращения окисления металла при пайке тугоплавкими припоями с помощью индукционного нагрева можно производить пайку в вакууме и в защитной атмосфере. при пайке в вакууме изделие помещают в стеклянный колпак, из-под которого затем откачивают воздух до разрежения около 0,01 мм рт.ст. Деталь нагревают кольцевым индуктором. После окончания нагрева и пайки индуктор отводят, выдерживают деталь под вакуумом до температуры 150-200 °С, после чего пространство под колпаком соединяют с воздухом и вынимают деталь [27].

### 3.2 Технология применения индукционного нагрева для пайки фланцев штуцеров

Для осуществления процесса индукционной пайки фланцев штуцеров необходимо произвести следующие шаги:

- приготовить рабочее место к работе;
- положить штуцер вниз фланцем (рис. 19);
- уложить припой, обработать паяемую поверхность флюсом;
- обеспечить положение индуктора с соблюдением воздушных зазоров, исключающих взаимодействие его с паяемой деталью;
- включить оборудование, предварительно задав скорость и температуру нагрева.

Температура пайки и время поддержания этой температуры обеспечиваются фотопирометром, входящим в состав системы управления установкой.

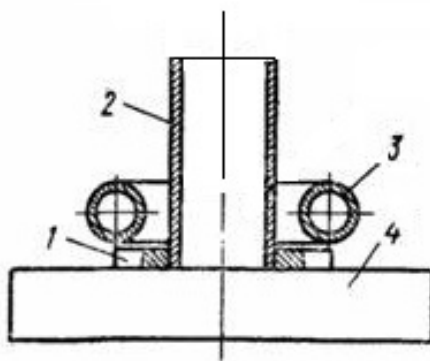


Рисунок 19 – Индукционная пайки фланца штуцера:

1-фланец; 2 - труба; 3- индуктор; 4- основание

Температура пайки лежит в пределах  $665 \div 730$  °С. Время выдержки при температуре пайки около 10 сек.

Положение штуцера вниз фланцем обеспечит наилучшее обтекание спаиваемых поверхностей расплавленным припоем под действием сил тяжести за счет его стекания в зазор между трубой и фланцем.

Индуктор не должен соприкасаться с поверхностью фланца, рекомендуемая величина воздушного зазора между фланцем и индуктором  $h_1$  колеблется от 2,5 до 5 мм. В данной работе выберем  $h_1 = 2,5$ .

Для удобства укладки припоя по ГОСТ 12820-80 допускается выполнять угол фаски под паяный шов  $(55 \pm 3)^\circ$  [28]. Выполнение фаски под паяный шов осуществляется с помощью токарного станка. Данную фаску изобразим на чертеже технологии пайки.

Необходимо, чтобы индуктор во время процесса пайки охлаждался циркулирующей внутри водой. Для этого необходимо, чтобы постоянно подавалась вода под давлением. Рекомендуемая температура воды в индукторе равна  $50^\circ\text{C}$ .

Технологическая наладка на процесс пайки фланцев штуцеров представлена на плакате формата А2 в приложении А.

### **3.3 Возможные неполадки при эксплуатации**

В процессе эксплуатации ТВЧ установок может возникнуть непредвиденный выход из строя того или иного оборудования, существуют следующие возможные неисправности:

- разрушение микропереключателей – причин возникновения данной неисправности, к сожалению, достаточно много, и для из определения необходима комплексная диагностика оборудования;

- сгорание накопившейся пыли. Кроме того, накопившаяся пыль изменяет емкость резонаторной полости и далее влияет на работу лампы, что сокращает ее срок службы;

- пробой диэлектрика, возникновение дуги;

- неправильное подключение - перепутаны местами фаза и ноль;

- слишком высокое входное напряжение. Слишком высокий ток на аноде генераторной лампы, который в последствии приводит к осыпанию сетки или просто приводит ее к сгоранию. Если невозможно уменьшить напряжение, можно с помощью индукционной катушки уменьшить сеточный ток лампы;

- отсутствие заземления - во-первых - это нарушение техники безопасности, во-вторых, заземление обеспечивает адекватную работу всех приборов, в-третьих, будет в несколько раз повышен уровень электромагнитного поля, подключение к шине или клемме еще не означает заземление. Должен быть контур с сопротивлением не более 4 Ом;

- перегрев генераторной лампы ТВЧ станка - она работает при высоких температурах и требует обязательного охлаждения (должен работать вентилятор) после окончания работы в течение 10 минут, до полного остывания, только затем можно полностью выключить станок. При полной одновременной остановке сетка постепенно разрушается [29].

Необходимо знать возможные неисправности и причины их возникновения, ведь это может исключить финансовые капитальные затраты.

### **3.4 Разработка мероприятий по техническому обслуживанию, текущему и капитальному ремонту**

Для предупреждения возникновения возможных неисправностей с последующим выходом оборудования из строя необходимо периодически производить мероприятия по техническому обслуживанию. Для осуществления периодического контроля необходимо знать, что и когда необходимо проверять и через какой фиксированный промежуток времени. В данной работе для сохранения и поддержания работоспособного состояния необходимо разработать мероприятия по техническому обслуживанию, текущему и капитальному ремонту, направленные на поддержание работоспособного состояния оборудования установки для индукционной пайки.

Техническим обслуживанием называется весь комплекс операций по поддержанию работоспособности оборудования. Проводится, как правило, без замены узлов.

Запись о проведенных работах, с обязательной отметкой общей наработки изделия, и даты следующей проверки делается в Журнале проведения плановых обслуживаний и ремонтов.

Необходимо проводить ежесменное техническое обслуживание (ЕТО), которое выполняет оператор оборудования в соответствии с эксплуатационной документацией (ЭД) и включает:

- контроль исправности световой индикации;
- постоянное поддержание в чистоте базовых и технологических поверхностей механической части;
- контроль нормальной работы системы водяного охлаждения: давления (расхода) воды напорной и / или сливной линии; герметичности арматуры, рукавов и соединений при рабочем давлении; температуры воды сливной линии;
- контроль исправности и эффективной работы систем вентиляции рабочего места и рабочей зоны оборудования;
- внешний осмотр рабочего устройства, пультов управления, контроль целостности и надежности крепления датчиков, подвижных частей и защиты, силовых кабелей и кабелей управления, арматуры и трубопроводов воды и воздуха, защитных кожухов;
- проверку состояний болтов и шин заземления;
- общую очистку оборудования от окалины, технологических отходов и общего загрязнения в конце смены;
- смазка трущихся деталей.

ТО – 1 проводится ежемесячно в соответствии с ЭД. ТО-2 включает действия, проводимые при ТО-1, а также:

- обезжиривание штекерных разъемов электрической части оборудования;
- общую проверку затяжки контактов электросиловой части;

- общую проверку затяжки болтов соединений механической части;
- проверка правильности программы управления рабочими режимами;
- проверку сопротивления изоляции согласовывающих трансформаторов, силовых кабелей и других электроаппаратов, связанных с питающей сетью, на соответствие действующей ЭД;
- проверку сопротивления заземления преобразователя частоты на соответствие действующей ЭД.

ТО-2 проводится в соответствии с руководством, один раз в год, включает все действия, проводимые при ТО-2, а также дополнительно:

- зачистка с помощью войлока контактной части крепления индуктора, как со стороны установки, так и со стороны индуктора;
- продув системы охлаждения сжатым воздухом, давлением не превышающим 6 атм. [30].

Текущий ремонт – это ремонт, осуществляемый для восстановления работоспособности оборудования и состоящий в замене и (или) восстановлении его отдельных составных частей.

В зависимости от конструктивных особенностей оборудования, характера и объема проводимых работ, текущие ремонты могут подразделяться на первый текущий ремонт ( $T_1$ ), второй текущий ремонт ( $T_2$ ) и т.д. Перечень обязательных работ, подлежащих выполнению при текущем ремонте, должен быть определен в ремонтной документации электроцеха (подразделения).

При текущем ремонте выполняются в полном объеме операции ТО, а также следующие работы: чистка изоляторов; крышки трансформатора; подтяжка всех болтовых соединений и чистка контактных соединений; осмотр, чистка и ремонт охлаждающих устройств; проверка состояния частей переключающих устройств, доступных осмотру; проверка положения по напряжению; ремонт заземляющей сети; проверка приборов контроля температуры и давления; измерение изоляции обмоток до и после ремонта.

При текущем ремонте, как правило, выполняются: – работы регламентированного ТО; – замена (или восстановление) отдельных узлов и

деталей; – ремонт футеровок и противокоррозионных покрытий; – ревизия оборудования; – проверка на точность; – ревизия арматуры и другие работы, примерно такой же степени сложности.

Капитальный ремонт – ремонт, выполняемый для обеспечения исправности и полного или близкого к полному восстановлению ресурса оборудования с заменой или восстановлением любых его частей, включая базовые (под базовой понимают основную часть оборудования, предназначенную для компоновки и установки на нее других составных частей). Послеремонтный ресурс оборудования должен составлять не менее 80% ресурса нового оборудования.

В объем капитального ремонта входят следующие работы: – замена или восстановление всех изношенных агрегатов, узлов и деталей; – полная или частичная замена изоляции, футеровки; – выверка и центровка оборудования; – послеремонтные испытания.

Для выполнения капитального ремонта на предприятии должны иметься ТУ на каждое наименование ремонтируемого оборудования.

При капитальном ремонте выполняются все операции текущего ремонта, а также следующие работы: демонтаж электрических аппаратов, переключателя напряжения; отсоединение выводов от катушек; разболчивание и расшихтовка (при необходимости) верхнего ярма магнитопровода с распрессовкой и снятием катушек, их замена или ремонт изоляции обмоток низкого и высокого напряжения, сушка и пропитка обмоток при необходимости – смена межлистовой изоляции и перешихтовка электростали магнитопровода после сборки без обмоток, установка катушек высокого и низкого напряжения на стержни магнитопровода, навар выводов на катушки; установка присоединяющих устройств и изолирующих планок, расклинивание обмоток; ремонт переключателей напряжения и отводов; ремонт охлаждающих устройств и др. [31].

Таким образом, благодаря разработанным мероприятиям по техническому обслуживанию, текущему и капитальному ремонтам,



эксплуатируемое оборудование установки для индукционной пайки будет сохранять свое работоспособное состояние длительное время, что позволит избежать непредвиденных поломок, и как следствие больших финансовых затрат на восстановление.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполнения данной бакалаврской работы было выполнено проектирование общего вида технологической системы установки для индукционной пайки фланцев штуцеров сосудов, работающих под давлением и проектирование набора индукторов для индукционной пайки фланцев штуцеров на условный диаметр  $D_{y1} = 40 \text{ мм}$ ;  $D_{y2} = 50 \text{ мм}$ ;  $D_{y3} = 80 \text{ мм}$ . Штуцера выполнялись по АТК 24.218.06-90.

Выполнение патентно-информационного исследования позволило понять устройство и принцип действия установок для индукционной пайки, а также, позволило исследовать существующие способы соединения спаиваемых деталей методом индукционного нагрева.

Проектирование индукторов осуществлялось на основе расчетов основных электрических характеристик, которые позволили выявить следующие его параметры: внутренний диаметр индуктора, внутренний и внешний диаметр трубки индуктора, потребляемая мощность и частота, глубина проникновения волны в материал индуктора.

Так же были выбраны вспомогательные материалы для осуществления процесса пайки спроектированными индукторами: флюс и припой, а также оглашены правила техники безопасности при эксплуатации установки.

Выполнение эксплуатационного раздела подробно описывает технологию применения процесса индукционной пайки для фланцев штуцеров и протекающие при этом процессы. Данный раздел иллюстрирован схемой технологической наладки в приложении А, на котором изображены штуцера двух типоразмеров  $D_{y1} = 40 \text{ мм}$  и  $D_{y2} = 50 \text{ мм}$  по АТК 24.218.06-90 с непосредственно уложенным припоем и положением спроектированных индукторов. При этом положение индукторов расположено с соблюдением воздушных зазоров между помещаемых в них патрубков штуцеров и рядом расположенных фланцев.

Так же в данном разделе с целью поддержания работоспособного состояния и продления срока эксплуатации оборудования индукционной установки были разработаны и отражены мероприятия по техническому обслуживанию (ТО-1 и ТО-2), текущему и капитальному ремонтам.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Э.С. Каракозов, Р.И. Мустафаев "Справочник молодого электросварщика". -М. 1992.
2. В.М. Неровный. Физические основы источников энергии для сварки. Учебное пособие – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2007.
3. Дубинин, Н.П. Технология металлов и других конструкционных материалов/ Н. П. Дубинин, Н.Н. Лиференко, А.Д. Хренов и др.; Под ред. Н.П. Дубинина.– М.: Высш. шк., 1969.– 701 с.
4. Николаев Г.А., Олышанский Н.А. Новые методы сварки металлов и пластмасс. М. Машиностроение 1966г. 180 с.
5. Основы проектирования индукторов [электронный ресурс]. Режим доступа: [http://elsit.ru/index.php?id\\_news=329](http://elsit.ru/index.php?id_news=329)
6. Индукционная пайка – особенности технологии [электронный ресурс]. Режим доступа: <http://slesario.ru/payanie-luzhenie-svarka-i-skleivanie/induktsionnaya-payka/osobennosti-technologii.html>
7. Индукционная пайка [электронный ресурс]. Режим доступа: [http://www.autowelding.ru/publ/professionalno\\_o\\_pajke/klassifikacija\\_sposobov\\_pajki/indukcionnaja\\_pajka/29-1-0-413](http://www.autowelding.ru/publ/professionalno_o_pajke/klassifikacija_sposobov_pajki/indukcionnaja_pajka/29-1-0-413)
8. Применение индукционного нагрева [электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.efd-induction.com/~media/PDF/Russian/Applications.ashx>
9. Болотов А.В., Шепель Г.А. Электротехнологические установки.: учеб. для вузов / А.В. Болотов. – М. : Высшая школа, 1988
10. Шеховцов В.П. Электрическое и электромеханическое оборудование / В.П. Шеховцов. – М. : Форум-ИнфраМ, 2004.
11. Патент СССР 1787088. А. Э. Кольке, М. В. Коняшин, В. Н. Шкляев. Устройство для индукционной пайки. Заявка от 10.11.1989. Оpubл. 07.01.1993. По данным на 10.04.2016 – прекратил действие.

12. Патент СССР 603514. В. В. Шерemet, В. В. Полянский, В. С. Гончаров. Установка для индукционной пайки. Заявка от 26.07.1976. Оpubл. 25.04.1978. По данным на 10.04.2016 – прекратил действие.

13. Патент РФ 2297308. Ю. М. Тихомиров, А. С. Дегтерев. Устройство для индукционной пайки соединительной муфты волновода. Заявка от 29.01.2003. Оpubл. 20.04.2007. По данным на 10.04.2016 – прекратил действие.

14. Патент СССР 413001. И. П. Иудин, Ю. Ф. Кузнецов, В. С. Брунцев. Установка для индукционной пайки трубчатых изделий. Заявка от 05.04.1971. Оpubл. 30.01.1974. По данным на 10.04.2016 – прекратил действие.

15. Патент РФ 2686. В. Л. Ланин, И. Н. Чернышевич, В. М. Бондарик. Способ пайки изделий. Заявка от 08.11.1993. Оpubл. 30.03.1999. По данным на 10.04.2016 – прекратил действие.

16. Патент СССР 413002. М. М. Черноморский, Ю. Д. Ершов, П. А. Ашихмин. Способ пайки труб. Заявка от 22.06.1970. Оpubл. 30.01.1974. По данным на 10.04.2016 – прекратил действие.

17. Патент СССР 1593813. Л. Е. Сиплигина, В. Н. Семенов. Способ пайки разнородных материалов. Заявка от 03.08.1987. Оpubл. 23.09.1990. По данным на 10.04.2016 – прекратил действие.

18. Патент СССР 1639902. О. А. Шапошников, Ю. А. Курдин. Способ вакуумной капиллярной пайки. Заявка от 05.04.1989. Оpubл. 07.04.1991. По данным на 10.04.2016 – прекратил действие.

19. Богданов В.Н., Рыскин С.Е. Применение сквозного индукционного нагрева в промышленности. – М.-Л., изд. «Машиностроение», 1965 г. 96 стр.

20. Слухоцкий А.Е., Рыскин С.Е. Индукторы для индукционного нагрева. Л., «Энергия», 1974 г. 264 с.

21. АТК 24.218.06-90. Штуцера для сосудов и аппаратов стальных сварных; Введ. с 12.01.1995 по 01.01.2000. – Акционерное общество «Центральное конструкторское бюро нефтеаппаратуры», 1990 г. – 46 с.

22. ГОСТ 617-90. Трубы медные. Технические условия; Введ. с 01.01.1992 по 01.01.2008. – Межгосударственный стандарт. 1992 г. – 15 с.

23. Индукционные генераторы ТВЧ [электронный ресурс]. Режим доступа: <http://interm.su/istochniki-pitaniya/generatory/>
24. Пайка нержавеющей стали - припой [электронный ресурс]. Режим доступа: <http://svarka-master.ru/pajka-nerzhavayushhej-stali/>
25. Припой и флюсы [электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.sdelaysam.info/metal/flux.shtml>
26. Петрунин И.Е., Березников Ю.И. и др. Справочник по пайке / Под ред. Петрунина. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 2003. 480 с.
27. Способы пайки [электронный ресурс]. Режим доступа: [http://www.gazballon.ru/ru/articles/svarochnye\\_materialy\\_pripoi\\_tehnologii/sposoby\\_paiки](http://www.gazballon.ru/ru/articles/svarochnye_materialy_pripoi_tehnologii/sposoby_paiки)
28. ГОСТ 12820-80. Фланцы стальные плоские приварные. Введ. с 01.01.83 по 01.01.93. – Государственный стандарт союза ССР. 1983 г. – 11 с.
29. Вопросы о ТВЧ оборудовании [электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.topmash.ru/tvch/chavo---voprosy-o-tvch-oborudovanii.html>
30. Установка индукционного нагрева типа ИМ 60-8-50. Руководство по эксплуатации [электронный ресурс]. Режим доступа: [http://ambit.pro/uploaded/files/manual/IHM\\_60\\_manual.pdf](http://ambit.pro/uploaded/files/manual/IHM_60_manual.pdf)
31. Ящура А.И. Система технического обслуживания и ремонта энергетического оборудования. Справочник. – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2006. – 504 с.